

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Bouřková činnost jako nebezpečný
meteorologický jev a její potenciální vliv
na letectví**

**Thunderstorm Activity as Dangerous
Meteorological Phenomenon and its Potential
Impact on Aviation**

Student:

Kateřina Suchánková

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Kateřina Suchánková**
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy
Studijní obor: 3708R037 Technologie provozu letecké techniky
Téma: **Bouřková činnost jako nebezpečný meteorologický jev a její potenciální
vliv na letectví**
**Thunderstorm Activity as Dangerous Meteorological Phenomenon and
its Potential Impact on Aviation**
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Zvýšit povědomí začínajícím i zkušeným pilotům o nebezpečí při letu v blízkosti bouřky. Popsat různé vlivy tohoto extrémního počasí. Výčet oblastí s vysokým rizikem bouřkové činnosti. Navrhnout doporučení pro neočekávaný vlet do blízkosti bouře.

Osnova práce:

1. Úvod (bouřky a jejich možné vlivy na letectví).
2. Oblak typu Cb (vznik, stadia vývoje, struktura, jevy nebezpečné pro letectví).
3. Bouřky a letecký provoz (možné účinky bouřek na letadlo, předpovědi vzniku bouřek, jejich sledování a plánování letů s ohledem na pravděpodobnost vzniku a dalšího vývoje, porovnání numerických modelů na předpověď bouřek).
4. Diskuze k možným letům v oblastech s bouřkami (doporučení pro provádění letů v oblastech s výskytem nebo pravděpodobným výskytem bouřek).
5. Závěry.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dvořák, Petr. Letecká meteorologie. Praha: Svět křídel, 2017. 464 s. ISBN 978-80-7573-014-5.
Jeppesen Sanderson Inc. Meteorology, JAA ATPL Training. Oxford: Oxford Aviation Training, 2004. 519 s. ISBN 0-88487-285-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020

Handwritten signature of Kateřina Lucieková in blue ink, written over a dotted line.

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědoma, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 5. 2020



Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Kateřina Suchánková

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vřesinská 258/60

Ostrava - Poruba

708 00

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SUCHÁNKOVÁ, K., *Bouřková činnost jako nebezpečný meteorologický jev a její potenciální vliv na letectví: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2020, 53 s. Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Jančík Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá popsáním oblaku typu Cumulonimbus a jeho charakteristickým chováním. V teoretické části se pojednává o výčtu nebezpečných meteorologických jevů pro letectví. Pozornost je zaměřena na možné účinky bouřkové činnosti na letadlo. V praktické části se práce zaměřuje na doporučení pro provádění letů v oblastech s pravděpodobným výskytem bouřek, ale také na doporučení při neúmyslném vletnutí do bouřkového oblaku.

Klíčová slova: bouřka, letecká doprava, účinky bouřkové činnosti na letadlo

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SUCHÁNKOVÁ, K., *Thunderstorm Activity as Dangerous Meteorological Phenomenon and its Potential Impact on Aviation*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2020, 53 p. Thesis head: doc. Ing. Petr Jančík Ph.D.

The bachelor thesis deals with the description of the Cumulonimbus cloud and its characteristic behavior. In the theoretical part deals with the list of dangerous meteorological phenomena for aviation. Attention is focused on the possible effects of storm activity on aircraft. In the practical part the work focuses on recommendations for flights in areas with probable occurrence of storms, but also on recommendations for unintentional entry into a storm cloud.

Key Words: Thunderstorm, Air Transportation, Effects of Thunderstorm Activity on Aircraft

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	11
1 Úvod.....	12
2 Oblak typu Cb	13
2.1 Vznik.....	14
Rozdělení bouřek	16
2.2 Stádia vývoje.....	20
2.3 Struktura.....	22
2.4 Jevy nebezpečné pro letectví	24
Námraza	24
Srážky	25
Stříhy větru	26
Downburst.....	27
Turbulence	28
Elektrické výboje	29
Tornáda	31
3 Bouřky a letecký provoz	32
3.1 Možné účinky bouřkové činnosti na letadlo	33
Námraza	33
Srážky	34
Stříhy větru	34
Elektrické výboje	35
Tornáda	36
3.2 Předpovědi vzniku bouřek	36
Předpověď vzniku bouřek podle druhu oblaků.....	37
Synoptické mapy.....	37
Aerologie	38
Meteorologické radary a radiolokátory.....	38
Družicová meteorologie.....	39
Čtyřvrstvová metoda.....	39
3.3 Jejich sledování a plánování letů s ohledem na pravděpodobnost vzniku a dalšího vývoje.....	39

Hlášení z letadla.....	39
4 Diskuze k možným letům v oblastech s pravděpodobným výskytem bouřek	45
4.1 Doporučení pro provádění letů v oblastech s pravděpodobným výskytem bouřek ...	46
Jak se dostat z bouřky	46
Microburst.....	48
5 Závěr	50
6 Seznam použitých zdrojů a literatura.....	51
7 Seznam příloh a obrázků.....	53

Seznam použitých zkratek a symbolů

AGL	Above ground level	Nad úrovní země
ATPL	Airline transport pilot licence	Licence dopravního pilota
Cb	Cumulonimbus	Cumulonimbus
CNL	Cancel or cancelled	Zrušit nebo zrušeno
FCST	Forecast	Předpověď
FL	Flight level	Letová hladina
GLD	Glider	Kluzák
GPS	Global positioning system	Globální navigační systém
MCS	Mezoscale convective systems	Mezosynoptické konvekční systémy
OBS	Observed	Pozorovaný
PPL	Private pilot licence	Licence soukromého pilota
ULL	Ultralight licence	Pilot ultralehkého letadla
VKV/VHF	Very high frequency	Velmi krátké vlny

1 Úvod

Česká republika patří mezi státy s největším počtem vnitrostátních letišť na obyvatele. Dynamicky rostoucí mzdy zde otevírají cestu k drahým koníčkům, ke kterým patří létání. Mnoho lidí si plní sny a absolvují letecký výcvik pilotů od kategorie ULL nebo GLD přes PPL až do úrovně ATPL.

V osnovách každé letecké školy je i výuka o meteorologii. Znalosti o počasí a jejím vývoji musí zvládnout pilot každé kategorie. Ne vždy máme v letounu k dispozici palubní meteorologické radiolokátory. Důkladná příprava pro let, která zahrnuje počasí na trati, na cílovém letišti a její budoucí průběh je nezbytná pro bezpečný let. Jakékoliv meteorologické hrozby mohou vyústit v tragédii. Tyto hrozby eliminujeme pouze přesným naplánováním letu. Pro tuto činnost používáme meteorologické modely, které jsou vysoce úspěšné v predikci nebezpečných meteorologických jevů. Mezi tyto jevy řadíme bouřky, padající srážky, námrazu, stříhy větru a turbulenci. Padající srážky mají značný vliv na letecký provoz, kdy nám omezují dohlednost, zapříčiňují námrazu na letounu nebo jsou důvodem chybné indikace letadlových přístrojů. Silný déšť dokáže mít na letoun negativní účinek. Turbínové motory jsou schopny pojmout malé množství vody. Pokud jsou stoupavé proudy silné, může dojít k zahlcení motoru dešťovou vodou. Ostatně i kroupy mohou narůstat do značných velikostí. Samotný průlet oblastí s kroupami může letoun neopravitelně poškodit. Největší nebezpečí při tvorbě námrazy je zvyšující hmotnost letounu a změna jeho aerodynamických vlastností. Ostatně námraza neovlivňuje jen nosné a řídicí plochy, ale vniká také do měřících zařízení (např. snímačích statického a dynamického tlaku). Pokud nám zamrzne pitotova trubice, začne indikovat klesající dynamický tlak, který se projeví nižšími údaji na rychloměru. Pilot začne přidávat plyn, nebo se rozhodne strměji klesat a zde může dojít k překročení letové obálky a poškození letounu.

Bouřky jsou nejnebezpečnějšími projevy počasí, kterým je se nezbytné vyhnout. Nehody a incidenty z viny lidského činitele jsou v letectví významné a rostoucí. S největší pravděpodobností se odchylují od standardních postupů mladí a příliš sebevědomí piloti.

2 Oblak typu Cb

Podle definice je kumulonimbus mohutný a hustý oblak velmi značného vertikálního rozsahu v podobě hor nebo obrovských věží. Alespoň část vrcholu je obvykle hladká nebo vláknitá či žebrovitá, téměř vždy zploštělá. Tato část se obvykle rozšiřuje do podoby kovadliny nebo širokého chocholu.¹

Základna bývá ve výšce okolo několika stovek metrů nad povrchem země. Vrcholy mohou zasahovat až do vysokého patra. V tropických oblastech je to kolem 20 kilometrů. Díky tak velkému vertikálnímu rozsahu obsahuje tento oblak jak vodu, tak i ledové částice. Nazýváme ho smíšeným oblakem. V oblaku tohoto typu se vyvíjejí silné konvekční srážky. Průměrná délka života kumulonimbu je přibližně 45 minut až několik hodin. Pro tento typ jsou charakteristické silné výstupné a sestupné proudy. Zesiluje nárazový vítr, mohou se objevit blesky a hřmění. V létě vypadávají srážky smíšené nebo dešťové, často jsou přívalového typu. V zimě většinou sněhové. Po vizuální stránce vypadá tento oblak jako vrstvy prorostlé věže, v horní části jsou protaženy do tvaru kovadliny, incus. Ta má u tropopauzy rozostřené okraje. Takovéto rozostřené okraje se vytvářejí díky stříhům větru, které panují v horizontálním směru. V nízkém patře oblaku se mohou tvořit poddruhy oblaku arcus, pannus. Na ostatních částech také pileus a velum. Arcus neboli shelf cloud se vytvoří při prudkém výtoku chladného vzduchu při zemském povrchu, kde na čelní straně vytlačí teplejší vzduch do výšky. Tento oblak je kruhového charakteru. Pileus jsou oblačné čepičky, které jsou viditelné nad rychle rostoucími kupovitými věžemi.

¹ DVORÁK, Petr. *Letecká meteorologie 2017*. 1. Cheb: Svět křídel, 2017. ISBN 978-80-7573-014-5.



Obrázek 1: Oblak Cumulonimbus

Zdroj: ŘEZÁČOVÁ, Daniela. *Fyzika oblaků a srážek*. 1. Praha: Academia, 2007. Gerstner. ISBN 978-80-200-1505-1. Foto: NOVÁK, P.

2.1 Vznik

Nejčastěji vzniká Cb postupnou přeměnou z kupovitého oblaku druhu Cumulus. Aby vznikl tento oblak, musí splnit několik kritérií. Pro vznik bouřky je třeba zjednodušeně řečeno:

1. počáteční impulz, který způsobí vertikální pohyb,
2. nestabilní vzduch,
3. vysoký obsah vlhkosti ve vzduchu.

Vývoj konvekční oblačnosti je spojen se splněním tří základních podmínek.

- 1. Existuje proces, který vyvolá vznik výstupných konvekčních pohybů a je prvním impulsem pro jejich další vývoj.*
- 2. Vertikální profil teploty a vlhkosti v troposféře podporuje další zrychlení vzniklého výstupného proudu.*
- 3. Vzduch proudící vzhůru je dostatečně teplý a vlhký, aby zajistil přísun vody potřebné pro vývoj oblaku.²*

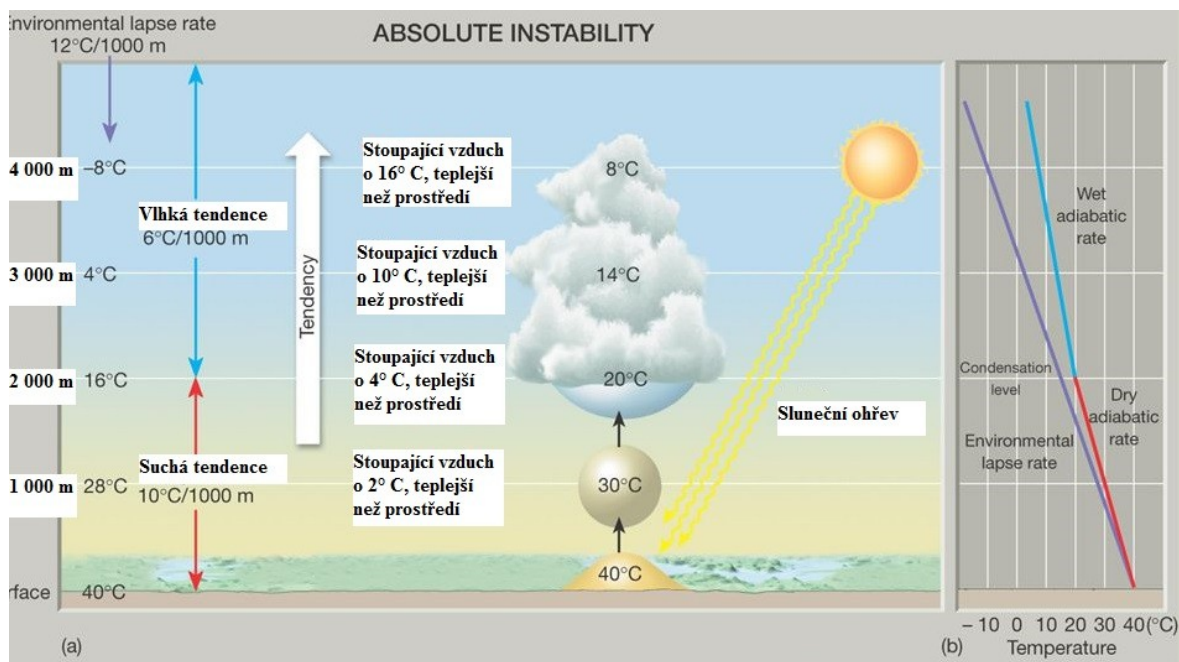
² ŘEZÁČOVÁ, Daniela. *Fyzika oblaků a srážek*. 1. Praha: Academia, 2007. Gerstner. ISBN 978-80-200-1505-1.

Oblaka vznikají na základě ochlazení vzduchu v určité výšce nad zemským povrchem. Vodní pára, která je ve vzduchu obsažená, se stane nasycenou. Pára zkondenzuje a vytvoří se velké množství vodních kapiček. Ochlazení vzduchu se děje ze dvou příčin.

Tou první příčinou se projevuje ochlazování určitých vzduchových vrstev v atmosféře při konstantním tlaku (tj. **izobarický děj**), kdy teplota klesne pod teplotu rosného bodu a dojde ke kondenzaci vodní páry. Takto vznikají slohová neboli vrstevnatá oblaka.

U druhé příčiny může nastat **děj adiabatický** (bez výměny tepla s okolím), kdy se vzduchová hmota rozpíná, ochlazuje a probíhají v ní vzestupné pohyby vzduchu. Když se vzduch od země ohřeje, rozpíná se, stoupá a ztrácí tak svou teplotu. Ve své konvektivní kondenzační hladině se vzduch stává nasyceným. Tato hladina se uplatní jen při instabilním zvrstvení atmosféry. Výška konvektivní kondenzační hladiny se odvíjí od rozdílu mezi teplotou vzduchu a rosným bodem. V této hladině je stoprocentní relativní vlhkost. Nad touto hladinou už se tvoří oblaka až do horní hladiny konvekce. Tímto procesem vznikají kupovitá oblaka, která při vysoké vlhkosti mohou přerůstat v bouřkové oblaky typu Cb.

Vzestupné pohyby vzduchu jsou vyvolány různými příčinami. Vzduchová částice bude stoupat do té doby, než dosáhne teploty shodné s okolím. Tím vznikají termické stoupavé proudy. Nejsilnější je uprostřed. Může být i turbulentní. A to díky promíchávání s klesavými proudy. Nejznámější a nejčastější je tzv. **konvekce**. Impulsem se stává nerovnoměrné zahřívání zemského povrchu slunečním zářením. Nad teplým povrchem vznikají vzestupné proudy teplého a lehčího vzduchu. Relativní vlhkost ve vystupujícím vzduchu roste. Výstupné proudy mají složitou strukturu a bývají ovlivněny směrem a rychlostí větru v různých výškových hladinách. Jakmile dostoupí do výšky kondenzační hladiny, vytvoří se **konvekční oblačnost**.



Obrázek 2: Vznik konvekčních oblāků v prostředí absolutní instability (upraveno autorem)

Zdroj: <https://allgeographynow.wordpress.com/2016/02/18/absolute-instability/>

Orografická oblačnost je vyvolaná prouděním přes horské překážky. Nazývá se vynucená konvekce. Obě konvekce mohou nastat současně při proudění vzduchu přes hory a prohrátím např. jižních svahů hor.

Bouřka vzniká rychlým a silným výstupem teplého vzduchu do velkých výšek. Takto mohutné výstupné proudy vznikají buď nuceným výstupem na čele fronty či termickou aktivitou. Rozvinutý oblak Cb má výstupní proudy tak silné, že dosahují vertikální rychlosti až 40 m/s. Silné sestupné proudy, které vypadávají z mraků společně se srážkami, se při kontaktu se zemí rozlévají do stran. Takovýto vítr se nazývá húlava. Rychlost húlavy dosahuje i přes 100 kilometrů v hodině. Má velmi turbulentní charakter. Může se vyskytovat i více než 10 kilometrů od kumulonimbu.

Rozdělení bouřek

Bouřky uvnitř vzduchové hmoty

1. **Insolační** (konvekční), tzv. bouřky z tepla, které vznikají ohříváním (termickou konvekci) vlhkého vzduchu převážně v denních hodinách. Mají místní charakter.

2. **Advekční** bouřky, které vznikají při přechodu studeného vlhkého vzduchu nad teplý zemský povrch popřípadě vodní plochu.

Bouřky orografické

Vznikají nuceným výstupem instabilního vlhkého vzduchu do výšky při překonávání překážek (hory nebo horské masivy).

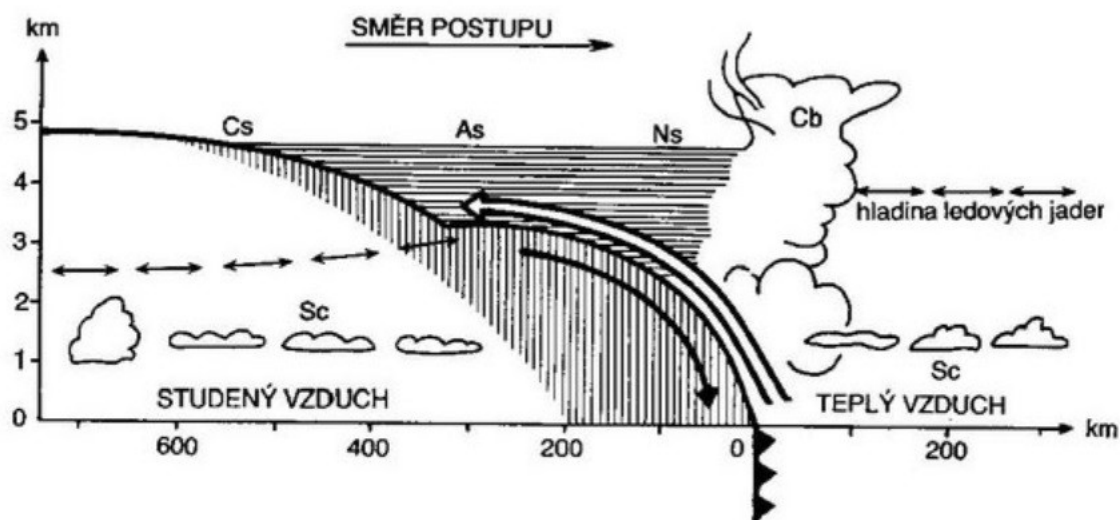
Bouřky frontální

Vznikají nuceným výkluzem teplejší vzduchové hmoty po studenější. Atmosférická fronta je hranice mezi dvěma různými vzduchovými hmotami. Jedna je teplejší a druhá studenější. Atmosférické fronty vznikají pouze v tlakových nížích. Každá vzduchová hmota má jiné fyzikální vlastnosti. Rozlišujeme bouřky na:

- teplé frontě,
- studené frontě,
- okluzní frontě.

Teplá fronta se značí červenými půlkruhy, studená fronta modrými trojúhelníky a okluzní fronta je kombinací těchto dvou značení ve fialové barvě. Tlakový útvar zvaný cyklóna, tzn. tlaková níže je oblast se sníženým tlakem vzduchu. V tlakových nížích převládá oblačné počasí s trvalejšími srážkami a často i se silným větrem. Je to oblast vzniku atmosférických front. Na teplých frontách se s bouřkami nesetkáme. Ačkoli zvláštní případy výskytu bouřek na těchto frontách pozorovány byly.

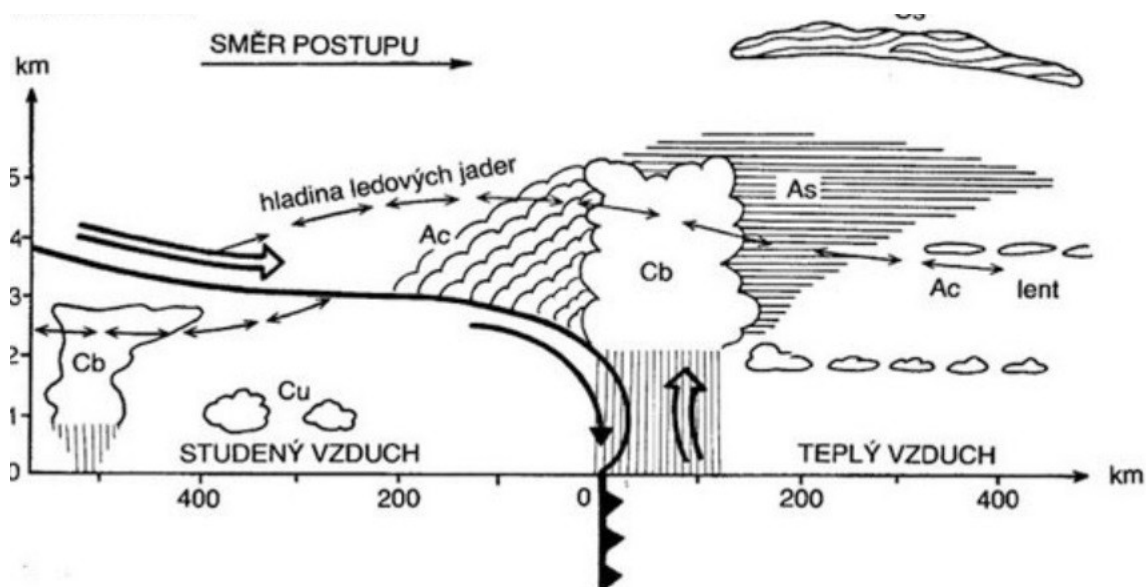
Studená fronta znamená, když se těžší studený vzduch, podsouvá pod teplejší vzduchovou hmotu a přitom jí nadzvedává. Tento sklon je vůči zemi velký. Tyto prudké vynucené vzestupné proudy, mají za následek vytvoření oblačného systému, nejčastěji s oblaky Cb na přední straně postupu fronty.



Obrázek 3: Studená fronta prvního druhu

Zdroj: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/04-cirkulace.html

Studená fronta druhého druhu se pohybuje ještě rychleji než studená fronta a po přechodu vyvinutých Cb, přichází rychlé projasnění a pěkné počasí s vývojem kumulů. Tyto kumuly se mohou vyvinout zase v Cb. S touto studenou frontou se v našich zeměpisných šířkách setkáváme hlavně v létě. Srážky na studené frontě bývají ve formě přeháněk a bouřek a drží se na čáře fronty. Studená fronta je vždy rychlejší než teplá, ale je také menší. Po přechodu studené fronty se citelně ochladí.

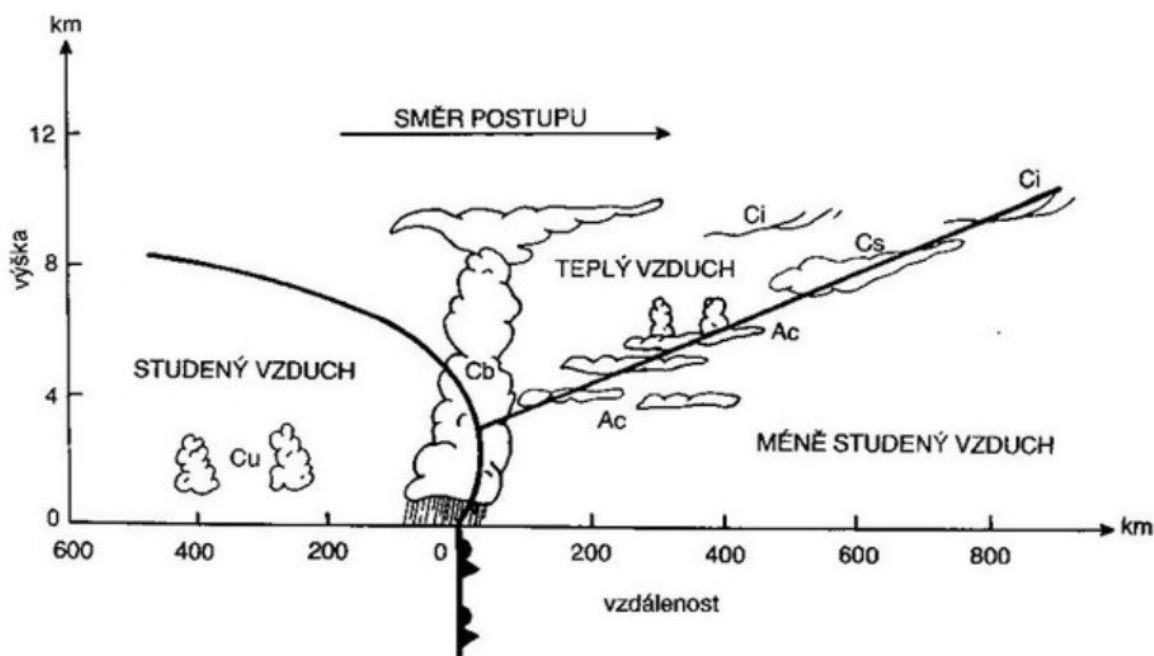


Obrázek 4: Studená fronta druhého druhu

Zdroj: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/04-cirkulace.html

Okluzní fronty

Teplá fronta vykluzuje zvolna vzhůru po klínu chladnějšího vzduchu, který se drží při zemi. Sklon je pouze 1° . Jelikož je studená fronta rychlejší než teplá, tak jí v tlakové níži dohání. Jakmile studená fronta teplou frontu dostihne, spojí se u zemského povrchu. Tyto studené vzduchové masy vytlačí teplou vzduchovou masu nahoru. Tím nám vznikne okluzní fronta. Oblaky druhu Cb vznikají za podmínek, že studenější vzduch je za teplou frontou a méně studený vzduch před teplou frontou.



Obrázek 5: Studená okluzní fronta

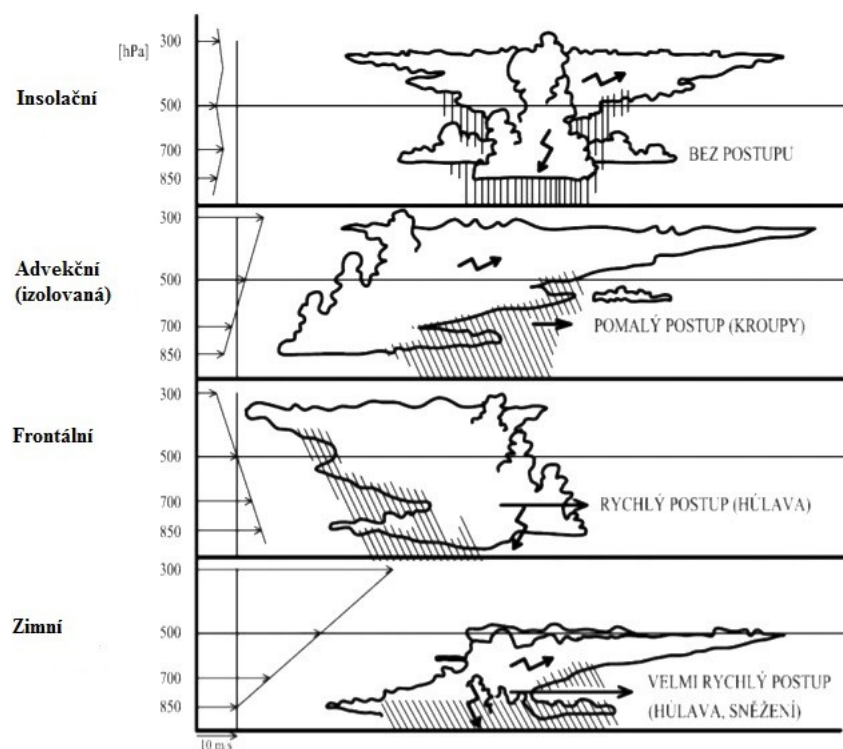
Zdroj: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/04-cirkulace.html

Bouřky na squall line

Není frontální povahy a vytváří se podél čáry instability.

Bouřky v konvergentním proudění

Jejich výskyt je v brázdě nízkého tlaku vzduchu.



Obrázek 6: Druhy bouřek a jejich rychlost postupu (upraveno autorem)

Zdroj: FÖRCHTGOTT, Jiří. *Struktura bouřek a jejich předpověď*. Meteorologické zprávy, 1966

2.2 Stádia vývoje

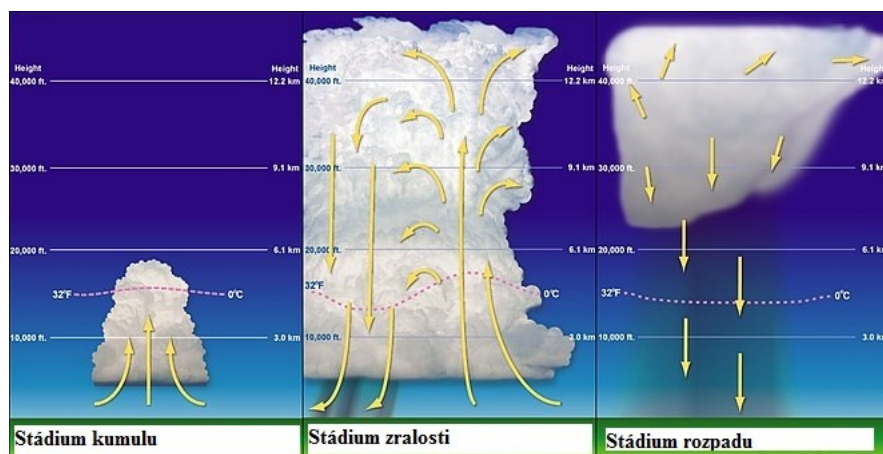
Přestože většina kupovitých oblaků se nestane bouřkami, každá bouřka musí projít fází kumulů. Jak závažná bouřka bude, závisí na fázi maximálního rozvoje. Ohraničené bouřky vznikají a zanikají rychle.

Hlavním znakem kupovitého oblaku, který se vyvine v bouřku, jsou vzestupné proudy. Tyto proudy se vyskytují od zemského povrchu až několik tisíc stop nad viditelnými vrcholky oblaku. V tomto oblaku převažují výstupné proudy. **Stádium kumulu** vzniká konvekcí nebo nuceným výstupem vzduchu podél frontálního rozhraní na studené frontě. Během této fáze dorůstají malé kapičky vody v dešťové kapky a oblak se zvětšuje. Jakmile vzestupný proud neudrží tyto dešťové kapky, začnou vypadávat. Při jejich vypadávání se vypaří do okolního vzduchu. Pokud má buňka dostatek vlhkosti v okolním prostředí, přechází snadno do dalšího vývojového stádia. Jakmile vznikne kovadlinový tvar na

vrcholu oblaku tzv. incus, znamená to pro oblak stádium maximálního rozvoje čili stádium zralosti.

Tento vývoj značí začátek maximálního rozvoje. **Stádium zralosti** začíná, když vznikne i sestupný proud. Může se projevovat i elektrická aktivita. Tato část je spojena s největší vertikální cirkulací a s elektrickou aktivitou. Vzestupný proud vzduchu se přesouvá na čelní stranu buňky. V týlové části buňky dochází k vypadávání srážek a při zemi dochází k silným propadům studeného vzduchu. Horizontální vývoj oblaku zasahuje daleko dopředu před oblak, rozšiřuje se horní část, kterou nazýváme kovadlina. Toto stádium se vyznačuje oběma proudy navzájem. Jakmile jsou ve zralé fázi oblaku vzestupné a sestupné proudy v rovnováze, může tato bouře dojít k ustálenému stavu, v níž převládají extrémní turbulence a velké krupobití. Takováto bouře může urazit tisíce kilometrů a trvat i více než 24 hodin.

Stádium rozpadu je poslední stádium buňky. Tlak vzduchu se sníží, dokud se vzestupný proud nestane sestupným. Přechlazené srážky mají tendenci ochladit spodní část oblaku, tím se přeruší přísun paliva, bouřková buňka ztratí svou energii a bouřka se rozpadne. Zanikají výstupné proudy a převažuje pouze sestupný proud. Elektrická aktivita slábne. Oblačnost se může rozpadnout na vrstvy. Stádium rozpadu je poslední stádium buňky. Jakmile všechny kapičky vody vypadly z oblaku, fáze rozpadu je dokončena. Rozpad bouřkové buňky netrvá déle než 30 minut.



Obrázek 7: Stádia vývoje (upraveno autorem)

Zdroj: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thunderstorm>

2.3 Struktura

Životní cyklus buňky závisí na mnoha okolnostech, které jsme si vysvětlili výše. Buňky můžeme rozlišovat také podle jejich organizace.

Single-cell

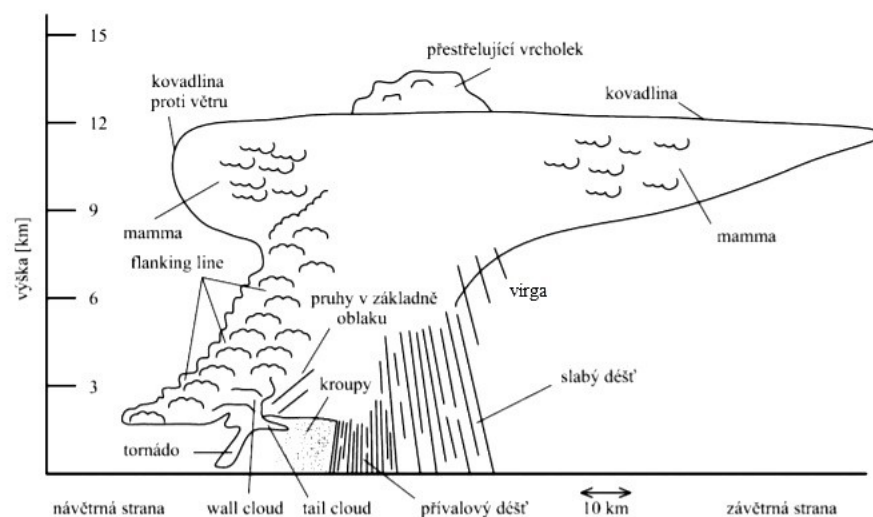
Single-cell je osamocená buňka s krátkou životností do jedné hodiny. Většinou se jedná o tzv. bouřky z tepla. Vznikají náhle a rychle se rozpadají. Jakmile dosáhnou zralosti, výstupné proudy se změní na sestupné. Z této buňky se ve výjimečných případech objevuje krupobití. Životnost této buňky málokdy přesahuje jednu hodinu.

Multi-cell

Multi-cell je seskupení buněk v různých stádiích vývoje. Záhy po vzniku Cb se vedle něho začne tvořit další a další. Tímto vzniká celý systém konvekčních buněk v různých stádiích vývoje. Rozpadající se buňky v systému ihned nahrazují nové. Životnost těchto systémů je od několika desítek minut po několika hodinové činnosti. Bývají zdrojem lijáků a krupobití. Velmi silné jsou zejména nárazy větru a elektrické výboje. Jedná se o velmi časté uskupení těchto buněk na území České republiky.

Super-cell

Super-cell se často vyvine z multicelly, které napomáhá vertikální stáčení větru. Životnost této buňky může být několik hodin. Vertikální výše těchto systémů bývá až 15 kilometrů. V místě nejsilnějšího výstupného proudu se objevuje přestřelující vrchol. Od tohoto vrcholu se šíří vlnové proudění zvané gravitační vlny. Zvláštností této buňky bývá odklánění se napravo od tahu okolních bouřek. S těmito bouřemi souvisí vznik tornád. Většinou vznikají v prostředí, kde se výrazně mění rychlost a směr větru v závislosti na nadmořské výšce. Tato změna způsobuje, že srážky vzniklé v oblaku nepadají do místa, odkud si bouře nasává teplý vzduch. V České republice se super-celly téměř nevyskytují. V naší zemi máme kontinentální klima a nízkou vlhkost vzduchu. V Evropě se mohou tvořit ve Francii, v zemích Beneluxu, na Balkánu, Maďarsku i v Polsku. Tyto bouře jsou doprovázeny krupobitím, v extrémních případech šlo o kroupy velikosti okolo 10 cm. Nacházejí se v ní ničivé nárazy větru, které zasahují jen určitý pás o pár kilometrech a přívalové deště s následnými povodněmi.



Obrázek 8: Zralá supercelární bouře (upraveno autorem)

Zdroj: ŘEZÁČOVÁ, Daniela. *Fyzika oblaků a srážek*. 1. Praha: Academia, 2007. Gerstner. ISBN 978-80-200-1505-1.

Mesoscale convective systems (mezosynoptické konvekční systémy)

Obecná definice MCS říká, že jde o soustavu oblaků druhu Cb, která alespoň v jednom směru vytváří souvislou srážkovou oblast o rozloze 100 km a větším. Tato definice bere v úvahu, že některé systémy mohou mít formu dlouhých úzkých pásů. Dynamika MCS je složitější než u jednotlivých kumulonimbů, protože tyto systémy jsou doprovázeny řadou dalších jevů, které se u individuálních oblaků neprojevují.³

Doba života těchto systémů je okolo 10 hodin. Na druhou stranu kovadlina konvekční složky může přežít i několik dní. Pomalu se pohybující systém bouří je zdrojem silných srážek, ničivých větrů, krupobití a vzniku tornád. Základními druhy uspořádání těchto elementů jsou squall line a mezosynoptické konvekční komplexy.

³ ŘEZÁČOVÁ, Daniela. *Fyzika oblaků a srážek*. 1. Praha: Academia, 2007. Gerstner. ISBN 978-80-200-1505-1.

Squall-line

Squall-line je organizovaná řada bouřek, které mohou být frontální i nefrontální. V ČR se vyskytuje často při postupu silné studené fronty. Vznikají podobně jako multi-celly, pouze s rozdílem, že nové buňky se tvoří na čelní straně systému. Zde se zesiluje nárazovitý vítr. Výstupné proudy zralých buněk mohou pronikat až do přestřelujícího vrcholku oblaku. Na začátku vývoje squall line, se mohou buňky obnovovat takřka periodicky. Zralá struktura, která trvá mezi 5 až 10 hodinami a je doprovázena silným deštěm. Takzvaná kovádlina se zde nemusí vytvořit.

Mezosynoptické konvekční komplexy

Je to oblast s teplotou nižší než $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ a která má plošný rozsah nad 100 000 km čtverečních. Tento rozsah přerůstá rozsah jednotlivého kumulonimbu o 2-3 řády velikosti. Životnost těchto systémů je okolo 15 hodin, ale mohou výjimečně přetrvávat i několik dní. Takto velké systémy jsou významné z hlediska produkce srážek. Pouze 10 % těch největších systémů vyprodukovalo až 90 % srážek na celém světě.

2.4 Jevy nebezpečné pro letectví

Konvekční bouře je obecný termín pro souhrn konvekčních procesů a jevů, které probíhají při vývoji vertikálně mohutných, srážkových konvekčních oblaků typu Cb. Mohou se projevit jako srážky (přívalový déšť, kroupy), vítr (silný nárazovitý vítr, downburst nebo microburst, tornádo) a elektrická aktivita (výboje, blesky, hřmění). Jedná se o srážkový oblak, který má velký vertikální rozsah (může prorůst až do nižších vrstev stratosféry).

Námraza

Námraza nemusí vždy souviset jen s bouřkovou činností. Velký problém nastává při rychlém usazování námrazy na náběžných hranách křídel. Zde se začíná objevovat změna aerodynamických vlastností letadel. Může dojít k nárůstu hmotnosti letadla, menší vztlak, ztráta rychlosti, vyšší spotřeba pohonných hmot. Silná námraza na letadle může změnit jeho těžiště a stabilitu. Rozlišujeme 3 základní druhy námrazy:

- jinovatka
- zrnitá námraza

- ledovka

Jinovatka je poměrně neškodný druh námrazy. Většinou jsou to malé ledové krystalky. Vytváří se většinou za letu při stoupání nebo klesání letadla, jakmile opouštíme vrstvu vzduchu se zápornou teplotou a vlétáme do vrstvy teplého vzduchu s vysokým obsahem vlhkosti.

Zrnitá námraza je neprůhledný, mléčně zbarvený led. Vytváří se nárazem malých přechlazených kapek na letadlo. Nejčastěji se tvoří na náběžných hranách letadel.

Ledovka je průhledný a hladký led. Vytváří se nárazem velkých přechlazených vodních kapek. Ty se po nárazu nejdříve rozlévají a až poté zamrznou. Nejčastěji se s ní setkáváme v oblačnosti druhu Cb.

Podmínky pro vznik námrazy jsou rozmanité. Závisí na množství vody v oblaku, teplotě vzduchu, teplotě povrchu letadla a na rychlosti letu. Dále se námraza vytváří intenzivněji v prostředí s velkými kapkami na tenčích profilech. Při rychlostech letadel do 500 km/hod intenzita námrazy roste. Intenzitu námrazy hodnotíme podle rychlosti jejího růstu v milimetrech za minutu.

- slabá (do 0,5 mm/min)
- mírná (0,6 – 1,0 mm/min)
- silná (1,0 – 2,0 mm/min)
- velmi silná (nad 2,0 mm/min)

Srážky

Srážkami se rozumí výsledek kondenzace nebo desublimace vodní páry v ovzduší. Určitá část původně malých oblačných elementů začne intenzivně narůstat na úkor ostatních. Na jedné straně je nezbytná přítomnost ledových částic v oblacích. K jejímu narůstání dochází, sráží-li se krystalek ledu s přechlazenou vodní kapkou. Jakmile je hmotnost krystalu velká, začne padat rovnoměrně zrychleným pohybem. V oblasti nulové izotermy začne tát a vznikne dešťová kapka. Původ této kapky je ostatně roztátý kousek ledu. Další představa vzniku dešťových kapek je narůstáním kapiček vody koalescencí. Déšť je tvořen vodními kapkami o průměru od 0,1 do 6 mm. Rychlost padání deště je mezi 4 až 8 m/s. Závisí především na hmotnosti a tvaru kapky, dále na tlaku a teplotě okolního

vzduchu. Jedná se o nejběžnější formu padajících srážek. Déšť rozlišujeme podle jeho intenzity:

1.	déšť slabý	úhrn srážek do 1 mm/hod
2.	déšť mírný	úhrn srážek od 1,1 do 5,0 mm/hod
3.	déšť silný	úhrn srážek od 5,1 do 10,0 mm/hod
4.	déšť velmi silný	úhrn srážek od 10,1 do 15,0 mm/hod
5.	liják	úhrn srážek od 15,1 do 23,0 mm/hod
6.	příval	úhrn srážek od 23,1 do 58,0 mm/hod
7.	průtrž mračen	úhrn srážek od 58,1 a více mm/hod

Kroupy

Kroupy jsou kusy ledu většinou kulatého tvaru. Obvykle mají velikost okolo 5 mm. Vzácně se objevují kroupy o velikosti několika centimetrů. Jejich pádová rychlost může dosahovat až 45 m/s. Kroupy vznikají pravděpodobně z krystalek ledu. Ty jsou zachyceny výstupným proudem vzduchu, kde se sráží s kapičkami podchlazené vody. Narůstající kroupa zůstává v oblaku do té doby, dokud nedosáhne takové velikosti a hmotnosti, že už ji vzestupný proud není schopen udržet. Jakmile začne padat dolů, může částečně znovu roztát a vzestupný proud ji opět vynese vzhůru. Tento proces se může vícekrát opakovat a kroupa se začne zvětšovat. Při každém výstupu se na ní nabalují nové kapičky vody. Tím vznikají vrstvy ledu, které v řezu kroupou vypadají jako letokruhy.

Stříhy větru

Jedná se o změnu vektoru proudění, může být vertikální nebo horizontální. Z hlediska leteckého se za stříh větru považuje změna vektoru větru podél trajektorie letadla. Následkem je náhlá změna směru nebo rychlosti letadla od letové trajektorie a tím vyžaduje okamžitou reakci pilota. Rychlost větru ve vyšších výškách významně převyšuje rychlost v blízkosti zemského povrchu.

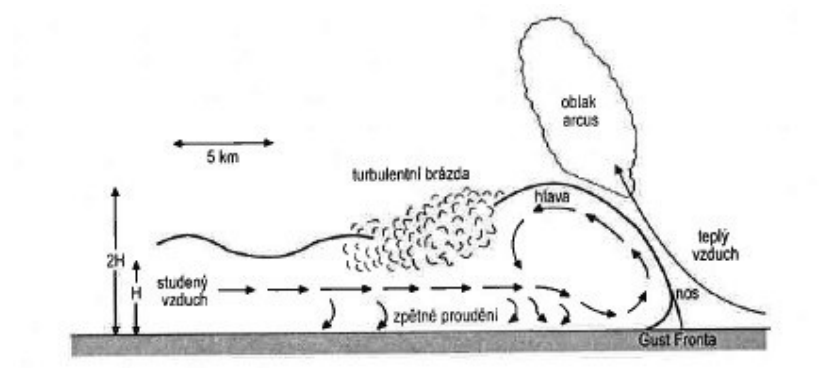
Vertikální stříh větru

Vertikální stříh větru bývá definován jako změna horizontálního vektoru větru s výškou. Nejčastěji vzniká při změnách tlaku, konvergenci a divergenci proudění, bouřkové aktivitě, cyklonální činnosti a při downburst jevu. Dále ho můžeme pozorovat na

silných inverzích nebo frontálních plochách. V letectví se projevují poblíž vzletových a přistávacích drah, které jsou obklopeny vysokými budovami nebo stromy.

Horizontální stříh větru

Horizontální stříh větru bývá definován jako změna horizontálního vektoru větru v rovině. Stříhy větru spojené s výstupními a sestupnými proudy v oblaku Cb jsou vyvolány změnami vertikálního komponentu větru, měřenými v horizontální vzdálenosti. Vzniká podobně jako vertikální stříh větru. Velmi nebezpečné stříhy větru bývají spojené s oblaky Cb a jejichmi **gust fronty** (mikrofronty, které se tvoří na čele výtoku studeného vzduchu sestupného proudu). Přední stranu označujeme jako **arcus**, rotorový oblak, který bývá většinou beze srážek a nachází se nad gust frontou.



Obrázek 9: Gust fronta

Zdroj: ŘEZÁČOVÁ, Daniela. *Fyzika oblaků a srážek*. 1. Praha: Academia, 2007. Gerstner. ISBN 978-80-200-1505-1.

Downburst

Downburst je prudký propad vzduchové masy většinou ze zadní části oblaku. Takový rychlý propad vzduchu má za následek adiabatické vypařování a proto má nižší teplotu než jeho okolí. Tyto propady mohou být suché, kdy nejsou doprovázeny srážkami nebo mokré. Suchý je proto, že se jeho proud deště před dopadem na zem vypařil. Jakmile propad vzduchu dosáhne povrchu země, rozprostře se do stran a vytvoří tím vír s vodorovnou osou kruhového tvaru. Tento jev trvá krátce, obvykle 5 až 10 minut.

Dělíme je podle rozlohy zasažené oblasti na:

- MICROBURST
- MACROBURST

Microburst nepřesahuje průměr sloupce padavým větrem 4 km. Projevy tohoto jevu bývají silnější. Rychlost tohoto propadu vzduchu je okolo 250 km/hod.

Macroburst musí přesáhnout průměr 4 km. Nemá tak ničující charakter jako microburst, protože rychlost sestupného proudu je nižší a trvají déle. Tyto větry trvají až 30 minut.

Turbulence

Turbulence je neuspořádané nebo chaotické proudění. Při něm vznikají vzdušné víry. Existují 3 základní druhy turbulencí.

- mechanická
- termická
- dynamická

Mechanická turbulence je způsobena prouděním vzduchu přes překážku, jakou mohou být například hory. Čím je vítr rychlejší a překážka větší, tím je turbulence silnější a sahá dále za překážku.

Termická turbulence je chaotické proudění mezi sestupnými a vzestupnými proudy vzduchu při adiabatickém ději. Často působí spolu s mechanickou. Předpověď vývoje termické turbulence je shodná s předpovědí vývoje konvekce. Její intenzitu předvídáme podle toho, zdali očekáváme vývoj Cb.

Dynamická turbulence vzniká třením dvou vzduchových vrstev rozdílných fyzikálních vlastností. K výskytu dynamické turbulence dochází při nadkritickém stříhu větru.

Při turbulenci na letadlo působí další aerodynamické síly. Tyto síly nám ovlivňují vztlak tím, že ho buď zmenšují, nebo ho zvětšují. Takovýto přídatný vztlak závisí na změně úhlu náběhu, nosné ploše letadla, hustotě vzduchu, rychlosti letu a hlavně na rychlosti vertikálního poryvu. Čím pomaleji letíme, tím klesá velikost přetížení. Takto se nejučinněji sníží účinek turbulence. Důležité je, zachovat bezpečnou rychlost a nesnižovat

ji na pod pádovou. Také na plně naložené letadlo jsou účinky turbulence menší než na letadlo prázdné. Pozor si musíme dávat i v cestovních hladinách. Silné turbulence probíhají i několik stovek metrů nad vrcholem Cb. Proto oblak nenadlétáváme, ale zcela se mu vyhýbáme. Turbulence se může vyskytovat i v bezoblačném prostoru a ve větší vzdálenosti od bouřkového oblaku.

Elektrické výboje

Elektrické výboje jsou nejkrásnějšími projevy bouřkové aktivity. Můžeme je dělit podle jejich projevů na:

- blesky
- hrotové výboje

Blesk

Blesk je elektrický výboj. Tento výboj doprovází vysoká ionizace. Můžeme je rozlišovat na blesky uvnitř bouřkového oblaku a blesky mezi dolním záporným centrem kumulonimbu a zemským povrchem nebo mezi centry kladných a záporných nábojů jednoho nebo více oblaků anebo mezi oblakem a zemí. Jak vzniká elektrický náboj, není dokázáno. Zatím se předpokládá, že je to spojeno s přítomností ledu v oblaku současně s vodou při nízkých teplotách. Druhy rozdělení náboje v oblaku:

1. Horní polovina oblaku je nabitá záporně a dolní polovina kladně
2. Horní polovina oblaku je nabitá kladně a dolní polovina záporně
3. V horní i v dolní polovině oblaku je kladný náboj a ty jsou od sebe odděleny záporným nábojem

Průběh blesku je tvořen několika fázemi. V první fázi se díky hlavnímu výboji zvanému líder vytvoří opticky kanál vysoce ionizovaného a zahřátého vzduchu. Tímto kanálem po určitou dobu prochází elektrický proud. Hlavní výboj se pohybuje v určitých krocích, kdy se zastavuje a hledá optimální cestu ke svému postupu. Tyto kroky se dějí v řádu mikrosekund. Kanál postupuje rychlostí asi 1000 km/s a zastavuje se po 50 m. Zde se rozvětví a postupuje dál. Najde-li na zemi špičatý předmět (strom nebo anténu), vyjde hlavnímu výboji výboj vzestupný. Obvod se uzavře a vznikne vodivý kanál mezi oblakem a zemí. Po něm se od země do oblaku proběhne hlavní elektrický výboj. Cesta je připravená a série dalších výbojů se proběhne v připraveném kanále. Tyto kanály mají

průměr od pár milimetrů po několik centimetrů. Teplota těchto ionizovaných plynů v kanále je okolo 25 000 K. Proud protékající tímto kanálem má hodnotu až 30 000 ampérů a napětí dosahuje 100 milionů voltů. Výkon blesku se pohybuje okolo 3 biliónů Wattů. Blesky většinou přenášejí směrem dolů záporný elektrický náboj. Kladné blesky se objevují v pozdních fázích vývoje bouřkového oblaku. Je to dáno tím, že dolní záporné centrum elektrického náboje slábne a horní kladný náboj klesá dolů v sestupných vzduchových proudech. Blesky dělíme podle jejich vzhledu na:

1. blesk čárový,
2. blesk rozvětvený,
3. blýskavici,
4. růžencový (perlový) blesk a
5. kulový blesk.

Blesk čárový je nejčastější podoba blesku. Její tvar je lomený a má jediný jasně svítící kanál, který je dráhou elektronů, pohybujících se rychlostí až 30 000 km/s.

Blesk rozvětvený připomíná korunu stromů nebo kořenový systém. Je to blesk čárový s více kanály. Má ničivé schopnosti a ani hromosvody nemohou ochránit před tímto typem blesku.

Blýskavice je bezhlučný záblesk mezi opačně nabitými centry uvnitř bouřkového mraku.

Perlový blesk má podél hlavního kanálu řadu světelných kuliček.

Kulový blesk má podobu koule. Barva jeho záře má oranžovou až žlutou barvu. Velikost tohoto blesku je od pár centimetrů po několik decimetrů. Vyskytuje se ke konci bouřky nebo i po ní. Pohybuje se nízko nad zemí a poté se rozplyne nebo vybuchne.

Hrotové výboje

Za běžných podmínek v atmosféře představují přibližně vertikálně tekoucí elektrické proudy pohyb iontů vzniklých zpravidla působením kosmického záření, popř. jiným způsobem. Za normálních podmínek je ionizace proces, při kterém dochází k přeskupování valenčních elektronů, přičemž působením záření dochází k vytrhávání některých

z valenčních elektronů atomových obalů a tyto jsou poté zachyceny jinými elektroneutrálními molekulami.⁴

Silné hrotové výboje provází zvukové efekty (praskání) a jiskření na kovových špičkách stožárů, věží apod. Pokud je tento výboj patrný okem, nazýváme ho **Eliášův oheň**. Jeho intenzita závisí na rychlosti větru (s rostoucí rychlostí intenzita výbojů stoupá) a na rozdílu elektrického potenciálu mezi uzemněným bodovým vodičem a okolním vzduchem.

Tornáda

Tornáda v našich zeměpisných šířkách vzácně provázejí oblak Cb. Aby mohlo tornádo vzniknout, musí se proudění větru stáčet podél vertikály. Oba proudy, jak sestupný, tak výstupní mají podobu šroubovice. Nazývá se oblačný chobot neboli tromba. Uprostřed je nízký tlak vzduchu a proto zde kondenzují vodní páry. Tornádo se z tromby stane tehdy, pokud se dotkne povrchu zemského. Tornádo nasává předměty na zemi a vynáší je do výšky. Jeho rychlost může dosáhnout až 200 kt. Průměr víru může nabývat od pár metrů až po několik kilometrů. Silná tornáda se v našich zeměpisných šířkách nevyskytují. Nejnebezpečnější část tornád bývá výš nad zemským povrchem. U země se kvůli tření o povrch tato rychlost snižuje.

4 SKŘEHOT, Petr: *Stručné základy teorie bouřek* [online], 2004. Dostupný na WWW:
http://archiv.astronomie.cz/data/Struc_zakl_teo_bour.pdf

3 Bouřky a letecký provoz

Bouřkou se rozumí přírodní jev doprovázený bleskem a hřměním nebo pouze hřměním. O blýskavici se mluví, když není slyšet hřmění, když vidíme pouze blesky nebo jejich světelné odrazy od oblaků. Z meteorologického hlediska představuje bouřka nejvýraznější projev konvekce ve volné atmosféře. Z hlediska leteckého provozu představuje bouřka jeden z nejnebezpečnějších atmosférických jevů, v Cb jsou soustředěny nebezpečné jevy jako silná turbulence, silná námraza, kroupy a elektrické výboje.⁵

Konvekční bouře je obecný termín pro souhrn konvekčních procesů a jevů, které probíhají při vývoji vertikálně mohutných, srážkových konvekčních oblaků druhu kumulonimbus. Mohou se projevit jako srážky (přívalový déšť, kroupy), vítr (silný nárazovitý vítr, downburst nebo microburst, tornádo) a elektrická aktivita (výboje, blesky, hřmění). Jedná se o srážkový oblak, který má velký vertikální rozsah (může prorůst až do nižších vrstev stratosféry). Základna bývá ve výšce okolo několika stovek metrů nad povrchem země. Díky tak velkému vertikálnímu rozsahu obsahuje tento oblak jak vodu, tak i ledové částice. V něm se vyvíjejí silné konvekční srážky. Průměrná délka života kumulonimbu je přibližně 45 minut až několik hodin. Pro tento druh jsou charakteristické silné výstupné a sestupné proudy. Co se týče ochlazování, převládá zde adiabatické nad radiačním.

Přestože piloti, kteří proletěli menšími bouřkovými buňkami s malým nebo žádným poškozením letadla nebo cestujících, měli by se tito piloti považovat za mimořádně šťastné, že jsou naživu. Každá jedna bouřková buňka je nekontrolovatelný tepelný zdroj, který může vyvolat jakékoli z jedné nejnebezpečnějších počasí (krupobití, turbulence, námraza), se kterou se pilot může setkat.

⁵ KRÁČMAR, Jan, Karel KRŠKA, Jakub SOBOTA a Václav SVATOŠ. *Meteorologie (050 00)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 80-7204-447-8.

3.1 Možné účinky bouřkové činnosti na letadlo

Námraza

Námraza nemusí vždy souviset jen s bouřkovou činností. Zato se projevuje v každém stádiu bouřky. Slabá námraza může vzniknout i v cirrovité oblačnosti ve výškách pod tropopauzou. Tato je spojena s horní hranicí Cb, kde se vytvořila kovadlina pod tropopauzou. V oblačnosti druhu Cb se vyskytuje námraza typu zrnitý led nebo ledovka. Mírná až silná ledovka se vyskytuje na čele studené fronty. Když ledové krystalky narážejí ve vysoké rychlosti na přechlazený povrch letadla a ty vlivem velké energie z nárazu okamžitě změny skupenství na vodu a ta následně zamrzne. Velký problém nastává při rychlém usazování námrazy na náběžných hranách křídel. Zde se začíná objevovat změna aerodynamických vlastností letadel, odtrhávání mezní vrstvy a tvorbě klopivého momentu. Omezují účinnost řídicích ploch a vrtulí. Námraza na vrtulích způsobí jejich nevyváženost, vibrace a odlétnutím kusů ledu mohou způsobit poškození letadla. Vzniká riziko poškození vztlačových klapek při zasouvání, pokud byly pokryty ledem. Jakmile námraza nesymetricky pokryje křídla, mohou vzniknout různé klonivé momenty. Může dojít k nárůstu hmotnosti letadla, menší vztlak, zvýšení odporu, ztráta rychlosti, zvýšení pádové rychlosti, vyšší spotřeba pohonných hmot. Ovlivňují palubní přístroje, které používají sondy umístěné na draku letadla. Námraza se dostává také do snímačů statického a dynamického tlaku. Pokud pitotova trubice zamrzne, začne ukazovat klesající dynamický tlak, který sníží údaje na rychloměru. Pilot zareaguje přidáním plynu. Letadlo může získat rychlost větší, než je povolená. A dostat se s letadlem mimo letovou obálku. To způsobí vážné poškození letadla.

Aby se nevytvořil led na vstupních otvorech turbínových motorů, vyhřívá se tento vstup teplým vzduchem z motorů. Nebezpečí tkví v tom, že pokud by se led odlomil, mohl by vlétnout do lopatek turbíny. U vrtulových letadel se odmrazují listy vrtulí a to elektricky nebo chemicky.

Těžká námraza je nebezpečná pro každé letadlo, i pro komerční. Tvarování ledu na konstrukci letadla zvyšuje hmotnost letadla, která zapříčiní zvýšenou rychlost na přistání a delší dojezdovou dráhu. Námraza rovněž narušuje proudění vzduchu přes křídla, čímž se snižuje celkový vztlak vytvářený křídly. Většina komerčních letadel je certifikována k letu s lehkou až střední námrazou. Piloti se musí snažit vyhnout oblastem silné námrazy. Před

odletem se letadlo může nechat ošetřit protinámrazovým postříkem. Tento postřík obsahuje chemikálie, které dokážou letadlo ochránit před námrazou asi 20 minut.

Srážky

Silný déšť může ulpívat na křídlech letadla a tím narušovat jeho mezní vrstvu, která se stane více turbulentní a vzroste její odpor. Pádová rychlost se zvyšuje, protože mezní vrstva se odtrhne mnohem dříve. Také voda zvyšuje hmotnost letadla. Oblak Cb obsahuje vodu i ledové částice. Jeho srážky jsou většinou velmi intenzivní. V zimě z něho vypadávají sněhové srážky, které snižují dohlednost jen na několik metrů. V rozpadovém stádiu se zhoršují podmínky dohlednosti a oblačnosti v přízemní vrstvě. V některých případech z oblaku vypadávají kroupy, které mají velikost od 5 do 50 mm. Jejich hmotnost bývá do 1 kg. Velké krupobití v okolí bouřkových buněk může způsobit těžké poškození letadla a jeho motorů. Mezi častá poškození patří potlučené náběžné hrany křídel a nosního kužele, prasknutí čelních skel a poškození motorů.

Střihy větru

V oblaku, ale také v jeho blízkosti se vyskytují silné výstupné a sestupné proudy. Silné vzestupné proudy mají své maximum v horní polovině oblaku Cb, zatímco nejsilnější sestupné proudy bývají v dolní polovině oblaku Cb. V jádru bouřky se setkáváme s oběma vertikálními proudy, turbulencí a s největším počtem srážek včetně krup. Na letadlu mohou zanechat ničující škody. S jeho přechodem jsou spojeny výrazné změny směru a rychlosti větru. Střihy větru v blízkosti země dělají problémy při vzletu, počátečním stoupání anebo v konečném přiblížení. Dráha ke vzletu a přistání se volí podle směru větru. Každé letadlo má ve své příručce uvedenou maximální složku čelního, bočního a zadního větru při vzletu i při přistání. Vítr na přední straně postupu bouřky vane směrem k ní. V okamžiku, kdy se bouřka přiblíží k místu, odkud ji pozorujeme, zvedne se silný nárazový vítr od bouřky. V její zadní části se propadá studený vzduch a rozlévá se do stran. Tyto hluboké propady studeného vzduchu mohou být až ve vzdálenosti 30 km od středu silné bouře, nejčastěji v přízemních hladinách. Rychlost propadu studeného vzduchu může být u země 60 kt, ale ve výšce až 90 kt. Tyto propady vzduchu dělíme na mokré tzv. **downburst**, které jsou se srážkami a suché tzv. **microbursty**, které jsou beze srážek. Společně s microburstem se projevuje silná turbulence vyvolaná silným střihem větru. Tato rychlá změna vertikální složky větru z vzestupné na sestupnou může způsobit havárii letadla. Tento jev, který souvisí s oblakem Cb, kde na malé ploše způsobuje silnou a rychlou změnu směru větru.

Letadlo, které se v něm ocitne, pravděpodobně zaznamená náhlé zvýšení rychlosti letu s následným dramatickým snížením. Pokud se letadlo v tomto bodě blíží své přistávací rychlosti, mohlo by při dalším snížení rychlosti letu dojít k jeho pádu. Toto náhlé a překvapivé snížení rychlosti je pro každé letadlo velmi nebezpečné. Microburst dokáže významně srazit letadlo k zemi. V extrémních případech je síla, při které je letadlo tlačeno dolů větší, než tahová síla vytvářená motory. Tyto jevy naruší dráhu a rychlost letu, což může způsobit, že letadlo překročí letovou obálku nebo zpomalí pod pádovou rychlost. Doslova dotlačí letadlo k zemi. V Evropě nejsou časté, zato v USA jsou pozorovány často. Pro letadlo je to nejnebezpečnější při konečném přiblížení, kdy má menší rychlost a je nízko nad terénem.

Squall znamená náhlé zvětšení větru o rychlosti alespoň 16 kt (8 m/s) na hodnotu 22 kt (11 m/s) nebo větší, které trvá alespoň 1 minutu.⁶

Squall line se používá pro čáru instability, která je vysoce aktivní. Tato čára nemusí být frontální povahy, ale jsou zde prudké konvekční jevy. Squall se označuje silný vítr, který vzniká náhle, ale oproti nárazovitému větru má delší trvání.

Elektrické výboje

Obchodní letadla obvykle zasáhne blesk několikrát do roka. Poškození letadla způsobené úderem blesku se mohou lišit. Letadlo je navrženo tak, aby rozptýlil elektrický náboj přes palubu, ale na vstupním a výstupním bodě mohou způsobit poškození povrchu. Málokdy způsobuje jakékoli významné problémy, ale potenciálně může rušit elektrické systémy letadla. Přibližně každých 1000 letových hodin udeří blesk do komerčního letounu, nebo průměrně jednou ročně. V malém letadle je šance mnohem nižší. Účinky úderu blesku závisí na velikosti letadla a na tom, zda byl navržen a chráněn tak, aby vydržel úder blesku. Hliníkový potah udržuje proud především na vnější straně letadla. Technici instalují ochranu, uzemnění a zařízení k potlačení přepětí, které by jinak mohly poškodit elektrická zařízení letadla. Podle předpisů výrobci letadel musí zajistit ochranu kritických komponentů, aby odolali úderu blesku.

⁶ KRÁČMAR, Jan, Karel KRŠKA, Jakub SOBOTA a Václav SVATOŠ. *Meteorologie (050 00)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 80-7204-447-8.

Tornáda

Tornáda se vyskytují pod jádrem bouře. V mírných zeměpisných šířkách je to na jejím jihovýchodním okraji. Ve výjimečných případech se po obvodu hlavního tornáda vytvoří podružné víry, které mohou být ničivější než hlavní tornádo. Tyto podružné víry mají zpravidla jepičí život (maximálně desítky sekund). Nad mořem taková tornáda označujeme jako vodní sloup nebo vodní smršť.

Pokud se tornádo dostane do blízkosti letiště, může způsobit značné poškození infrastruktury letišť a řízení letového provozu. Jakékoli letadlo zachycené tornádem na zemi bude docela pravděpodobně neopravitelně poškozeno. Jestliže zachytí tornádo letadlo během letu je vysoce nepravděpodobné, že by tento střet letadlo s cestujícími a s posádkou přežili. Pokud letadlo na zemi nemůže být odstraněno z rizikové plochy, může být jeho poškození sníženo zajištěním letadla k zemi tzv. ukotvením.

3.2 Předpovědi vzniku bouřek

V České republice se meteorologická data získávají měřeními na meteorologických a aerologických stanicích. Dalším způsobem získávání dat jsou měření radiolokační a družicové. Přízemní měření zajišťují meteorologické, které se dělí na synoptické a letecké stanice, klimatologické stanice, agrometeorologické a fenologické stanice. Soubor měření a pozorování jsou předávány každou hodinu do centrálního telekomunikačního počítače ve zprávě tzv. synop. Na základě toho se sestavují meteorologické předpovědi. Bouře se nazývají mimořádné zprávy, které nás informují o nenadálé změně počasí. Kritéria mimořádných zpráv jsou výskyt nebezpečných meteorologických jevů (bouřka, krupobití, mlha a mrznoucí srážky), změna rychlosti a směru větru nad stanovenou hodnotu, snížená dohlednost a snížená výška základny oblačnosti. Letečtí meteorologové vydávají specializované výstrahy. Mezi nebezpečné jevy patří námraza, turbulence a bouřky. Nejčastěji vznikají bouřky nad pevninou v tropických zeměpisných šířkách. V polárních oblastech bouřky nevznikají. Na horách se bouřky vyskytují častěji než v nížinách, protože při nuceném výstupu vzduchu podél horských svahů se po dosažení kondenzační hladiny začne vytvářet oblak.

Předpověď vzniku bouřek podle druhu oblaků

V horkém letním počasí v našich zeměpisných šířkách výskyt **cirrocumulu** naznačuje existenci konvekce nebo instability ve vyšších vrstvách troposféry. Může to být průvodní oblak k bouřkovému oblaku v jeho kovadlinovité partii. Z průvodního mateřského oblaku Cb se může vytvořit **cirrostratus fibratus cumulonimbogenitus**. Pokud se při stádiu maximálního rozvoje bouřkového oblaku jeho kovadlinový vrcholek rozprostře do rozsáhlého prostoru.

Alto cumulus castelanus značí, že se ve střední troposféře vyskytuje vysoká míra instability. Pokud se tento oblak vytvoří v časných ranních a dopoledních hodinách, můžeme v létě s velkou pravděpodobností očekávat výskyt bouřek z tepla.

Stratocumulus často předchází bouři, kde se objevuje v čelní nebo v týlové části zhoršeného počasí.

Cumulus se může přeměnit na kumulonimbus, který je důsledkem pronikání konvekčních stoupavých proudů přes minimální zádržnou stabilní vrstvu v troposféře. Konvekční proudy se zastavují v oblasti tropopauzy, ale při extrémně silných se mohou zastavit až ve stratosféře. Oblačný útvar **cumulus arcus** se spojuje se silnou přeháňkou a tím i obávaným downburstem. **Cumulus tuba** je spojen s Cb nebo výjimečně s cumulem, kdy zpod základny vyrůstá chobotovitý oblačný útvar. **Cumulus congestus** má věžovitý tvar s velkým vertikálním rozměrem. Tento oblak také přerůstá do Cb a je spojen se silnými přeháňkami. Cb se v některých případech může skrýt do oblaku nimbostratus, ale jen při podmínce, že je vzduchová hmota alespoň podmíněně instabilní.

Synoptické mapy

Rozložení a změny tlaku vzduchu se vyznačují do synoptických map. Izobara je čára, která na synoptické mapě spojuje místa, která ve stejnou dobu, naměřila stejný tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře. Pokud jsou izobary hustě u sebe, vítr je silný. Na synoptické mapě jsou dále znázorněné pohyby atmosférických front, tlakové útvary a vzduchové hmoty.

Aerologie

Aerologie je obor meteorologie zabývající se pozorováním a výzkumem atmosféry pomocí balonů, radiosond, letadel atd. Základními a nejčastěji měřenými prvky jsou teplota vzduchu, atmosférický tlak, vlhkost vzduchu a vítr. Aerologie se věnuje i výzkumu ozonu, radioaktivity a některých složek dlouhověkého záření.⁷

Měření se provádí na aerologické stanici Praha – Libuš. Díky aerologickým sondám, které jsou vypouštěny do atmosféry pomocí meteorologického balonu třikrát denně, jsme schopni zjistit tlak vzduchu, teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu a díky poloze i směr a rychlost větru v jednotlivých výškách. Tyto vodíkem plněné balóny vystoupají až do výšky 35 km. Doba letu sondy je zhruba 90 minut. K lokalizaci sondy během letu je využíván družicový navigační systém GPS. Radiosonda zasílá signály do pozemního zařízení. V pozemním zařízení program vyhodnotí naměřená a vypočítaná data. Z těchto dat jsou počítány výška a teplota rosného bodu.

Meteorologické radary a radiolokátory

Meteorologické radiolokátory díky velkému pokrytí a dobrému prostorovému a časovému rozlišení dat vhodně doplňují síť pozemních stanic i družicová pozorování pro synoptickou a leteckou meteorologii. Dosah meteorologických radarů v dopravních letadlech je až 250 km. Většina dopravních letadel je vybavena palubními radiolokátory. Umožňují sledování srážkové nebo bouřkové aktivity během letu. Pracují s paprskem azimutu přibližně 60 stupňů od směru letu. Tornáda bývají neviditelná i pro meteorologické radary nebo družicové snímky. Na radaru můžeme u konvekční oblačnosti pozorovat jednotlivé buňky s vyšší odrazivostí, obklopené nižší odrazivostí. Jádra odrazivosti nad 24 dBZ jsou spojena s aktivní bouřkovou konvekcí. Pokud hodnoty odrazivosti překročí 45 dBZ, vyskytují se zde velké buňky s dlouhou dobou života. Radary jsou pro leteckou meteorologii využívány od padesátých let minulého století. Radar vysílá krátké impulzy elektromagnetického vlnění. Atmosférické srážky a oblačnost odráží rádiové vlny zpět. Na základě doby přijetí signálu a jeho polohy vyznačí velikost a tvar pozorovaných objektů.

⁷ http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/sondaz_info.html

Družicová meteorologie

Vytváří tzv. světový meteorologický kosmický systém, který představuje zdroj nenahraditelných informací. Dělí se na dva subsystémy. Kosmický podsystém monitoruje pomocí umělých družic planetu Zemi a atmosféru. Pozemní subsystém shromažďuje a zpracovává informace z umělých družic. Družice se pohybují po třech orbitálních drahách. Rovníková dráha je ve výšce kolem 36 000 km, šikmá dráha od 300 – 600 km a subpolární dráha mezi 800 a 900 km. Evropská mezivládní organizace Eumetsat spravuje v Evropě systém meteorologických družic zvaných Meteosat. Tyto družice se využívají v oblasti krátkodobé meteorologické předpovědi, numerické modelování, monitorování nebezpečných hydrometeorologických jevů a naposledy i ke studiu kolísání klimatu. V podstatě díky družicové meteorologii vznikla možnost studia oblačnosti, určení změn teploty s výškou, odhad rychlosti větru podle pohybu oblaků a výzkum tropických cyklón. Cyklóny mohou být identifikovány již při jejich vzniku.

Čtyřvrstvová metoda

Tato metoda využívá principu vyšetřování podmínek vzniku bouřky ve čtyřech hladinách. A to pro hladiny mezi 850 – 700 hPa, 850 - 500 hPa, 850 - 400 hPa, a 850 - 300 hPa. Informace jsou dodávány z aerologických výstupů z několika stanic. Ve výsledku získáme čtyři indexy stability. Při kladné hodnotě indexu je stav ovzduší astabilní a tudíž vysoká pravděpodobnost vzniku bouřek.

3.3 Jejich sledování a plánování letů s ohledem na pravděpodobnost vzniku a dalšího vývoje

Hlášení z letadla

Hlášení z letadla může být provedeno a sestaveno ve shodě s požadavky na hlášení polohy a meteorologická hlášení. Provádí se pravidelná a mimořádná hlášení z letadel. Používá se pomocí radiotelefonního spojení nebo pomocí datových spojů vzduch – země (ACARS). Název těchto informací je **PIREPS** (Pilot Reports). Obsahem těchto zpráv jsou všechny nebezpečné meteorologické jevy. Letecká meteorologická stanice může být samostatnou leteckou stanicí nebo kombinací se synoptickou stanicí. Tyto stanice provádí pravidelná pozorování v pevně stanovených časových intervalech. Tato pravidelná pozorování mají být dle potřeby doplněna o mimořádné pozorování kdykoli dojde

k výskytu specifikovaných změn. Změny se týkají přízemního větru, dohlednosti, dráhové dohlednosti, oblačnosti nebo teploty vzduchu.

OPMET

Provozní meteorologické informace pro použití v předletové přípravě nebo v letovém plánování.

GAMET

Oblastní předpověď pro lety v nízkých hladinách, kterou připravuje letištní meteorologická služba.

Zpráva METAR

Letecká meteorologická zpráva, která nese informaci o počasí pozorovaném na letišti a je zakódována a rozšiřována. Jedná se o pravidelnou zprávu, vydávanou obvykle každých 30 minut.

PŘÍKLAD A3-1 Pravidelná zpráva

a) Místní pravidelná zpráva (stejně místo a stejné podmínky počasí jako ve zprávě METAR):
MET REPORT YUDO 221630Z WIND 240/08KT VIS 600M RVR RWY12 1000M MOD DZ FG CLD SCT 1000FT OVC 2000FT T17 DP16 QNH 1018HPA TREND BECMG TL1700 VIS 800M FG BECMG AT1800 VIS 10KM NSW

b) METAR YUDO (Donlon/International)*:
METAR YUDO 221630Z 24008KT 0600 R12/1000U DZ FG SCT010 OVC020 17/16 Q1018 BECMG TL1700 0800 FG BECMG AT1800 9999 NSW

Význam obou zpráv:
Zpráva METAR, místní pravidelná zpráva pro letiště Donlon/International*, vydaná 22. den v měsíci v 1630 UTC; přízemní vítr: směr 240 stupňů, rychlost 8 uzlů; dohlednost (podél dráhy v místní pravidelné zprávě; převládající dohlednost ve zprávě METAR) 600 m; dráhová dohlednost reprezentativní pro dotykovou zónu dráhy 12 (pouze jedna dráha v provozu, zřízeno jen stanoviště pro určování dráhové dohlednosti v dotykové zóně) 1000 m, během předcházejících 10 minut (tendence dráhové dohlednosti má být uvedena pouze ve zprávě METAR) vykazovaly hodnoty dráhové dohlednosti vzestupnou tendenci; mírné mrholení, mlha; polojasno se základnou oblačností 1 000 stop, zataženo se základnou oblačností 2 000 stop; teplota vzduchu 17°C, teplota rosného bodu 16° C; QNH 1018 hektopascalů; trend pro následující dvě hodiny: do 1700 UTC změna dohlednosti (podél dráhy v místní pravidelné zprávě; převládající dohlednost ve zprávě METAR) na 800 m, mlha; od 1800 UTC dohlednost (podél dráhy v místní pravidelné zprávě; převládající dohlednost ve zprávě METAR) 10 km a více, žádné význačné počasí.
* Fiktivní místo

Obrázek 10: Pravidelná zpráva METAR

Zdroj: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-3/data/print/L-3_cely.pdf

Zpráva SPECI

Mimořádná letecká meteorologická zpráva, která se vydává při dosažení nebo překročení měřených veličin stanovených meteorologických prvků, výskytu nebo změně intenzity stanovených význačných jevů počasí. Je šifrována v kódu.

PŘÍKLAD A3-2 Mimořádná zpráva

a) Místní mimořádná zpráva (stejně místo a stejné podmínky počasí jako ve zprávě SPECI):
SPECIAL YUDO 151115Z WIND 050/25KT MAX37 MNM10 VIS 1200M RVR RWY 05 ABV 1800M RVR RWY 05 ABV 1800M² HVY TSRA CLD BKN CB 500FT T25 DP22 QNH 1018 HPA TREND TEMPO TL1200 VIS 600M BECMG AT1200 VIS 8KM NSW NSC

b) SPECI YUDO (Donlon/International)*
SPECI YUDO 151115Z 05025G37KT 3000 1200NE +TSRA BKN005CB 25/22 Q1018 TEMPO TL1200 0600 BECMG AT1200 8000 NSW NSC

Význam obou zpráv:
Zpráva SPECI, místní mimořádná zpráva pro letiště Donlon/International*, vydaná 15. den v měsíci v 1115 UTC; přízemní vítr: směr 050 stupňů, rychlost 25 uzlů, nárazy o maximální rychlosti 37 uzlů ve zprávě SPECI, maximální rychlost 37 uzlů, minimální rychlost 10 uzlů v místní mimořádné zprávě; dohlednost 1 200 m podél dráhy v místní mimořádné zprávě, převládající dohlednost 3 000 m s minimální dohledností 1 200 m na severovýchod ve zprávě SPECI (rozdílná dohlednost v různých směrech se uvádí pouze ve zprávě SPECI); dráhová dohlednost na dráze 05 nad 1800 metrů (dráhová dohlednost se ve SPECI neuvádí při převládající dohlednosti 3 000 metrů) dráhová dohlednost reprezentativní pro dotykovou zónu dráhy 05 (pouze dráha 05 v provozu, zřízeno jen stanoviště pro určování dráhové dohlednosti v dotykové zóně) nad 1 800 m tj. nad maximální hodnotu, kterou lze systémem určovat (jen v místní mimořádné zprávě); bouřka se silným deštěm; oblačno až skoro zataženo, oblačnost druhu cumulonimbus se základnou 500 stop; teplota vzduchu 25°C; rosný bod 22°C; QNH 1 018 hektopascalů; trend pro následující dvě hodiny: od 1115 do 1200 dohlednost (podél dráhy v místní mimořádné zprávě, převládající dohlednost ve zprávě SPECI) dočasně 600 metrů, ve 1200 UTC dohlednost (podél dráhy v místní mimořádné zprávě, převládající dohlednost ve zprávě SPECI) 8 km, bouřka ustává, žádné význačné jevy počasí a žádná význačná oblačnost.

* Fiktivní místo

Obrázek 11: Mimořádná zpráva SPECI

Zdroj: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-3/data/print/L-3_cely.pdf

Přistávací předpověď TREND

Tato předpověď se připojuje k místním pravidelným zprávám, zprávám METAR nebo SPECI. Platnost přistávací předpovědi je 2 hodiny času zprávy. Vyjadřuje indikátor změny. Trvalá změna se označuje BECMG a dočasná změna se označuje TEMPO. Nepředpokládají se význačné změny a proto použijeme označení NOSIG (bez výrazné změny).

Letištní předpověď TAF

Předpověď je vydávána v určitém čase, ne dříve než jednu hodinu před začátkem své platnosti. Platnost těchto předpovědí je 9, 24 nebo 30 hodin. Ty s platností 9 hodin jsou vydávány každé 3 hodiny. Každých 6 hodin jsou vydávány předpovědi TAF s platností 24

nebo 30 hodin. Obsahují informace o přízemním větru, dohlednosti, počasí, oblačnosti a význačných změnách těchto prvků. Je-li potřeba vyjádřit pravděpodobnost budoucího výskytu předpovídaného prvku, zařadíme do zprávy TAF zkratku PROB. Ta může nabývat hodnot 30 nebo 40. Hodnota 30 značí málo pravděpodobné a hodnota 40 značí vysoce pravděpodobné. Opravená letištní předpověď se značí TAF AMD.

PŘÍKLAD A5-1 PŘEDPOVĚĎ TAF

<p>TAF YUDO (Donlon/International)*:</p> <p>TAF YUDO 151800Z 1600/1618 13010KT 9000 BKN020 BECMG 1606/1608 SCT015CB BKN020 TEMPO 1608/1612 17012G24KT 1000 TSRA SCT010CB BKN020 FM161230 15008KT 9999 BKN020</p> <p>Význam předpovědi:</p> <p>Předpověď TAF pro letiště Donlon/International* vydaná 15. dne daného měsíce v 1800 UTC; platnost od 0000 UTC do 1800 UTC 16. dne daného měsíce; přízemní vítr: směr 130 stupňů, rychlost 10 uzlů; dohlednost 9 km, oblačno až skoro zataženo se základnou oblačnosti 2 000 ft; přechodně mezi 0600 UTC a 0800 UTC 16. dne daného měsíce polojasno, oblačnost druhu cumulonimbus se základnou 1 500 ft a oblačno až skoro zataženo se základnou oblačnosti 2 000 ft; postupně mezi 0800 UTC a 1200 UTC 16. dne daného měsíce směr přízemního větru 170 stupňů, rychlost 12 uzlů, nárazy o maximální rychlosti 24 uzlů, dohlednost 1 000 m v bouři s mírným deštěm, polojasno, oblačnost druhu cumulonimbus se základnou 1 000 ft a oblačno až skoro zataženo se základnou oblačnosti 2 000 ft; od 1230 UTC 16. dne daného měsíce přízemní vítr: směr 150 stupňů, rychlost 8 uzlů; dohlednost 10 km a více; oblačno až skoro zataženo se základnou oblačnosti 2 000 ft.</p> <p>* Fiktivní místo</p>
--

Obrázek 12: Předpověď TAF

Zdroj: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-3/data/print/L-3_cely.pdf

Informace SIGMET

Je vydávána meteorologickou výstražnou službou, kde stručně a výstižně popisuje očekávaný výskyt zvláštních meteorologických jevů na trati. Výčet těchto jevů neblaze ovlivňuje bezpečnost letů. Mezi tyto jevy patří výskyt bouřek, tropických cyklón, húlav, silného krupobití, silné námrazy, silných turbulencí, výrazné proudění ve tvaru vln za horskou překážkou a rozsáhlých prachových bouří. SIGMET SST jsou informace vydávané pro nadzvukové lety, pro hladiny letu nadzvukovou rychlostí a přechodu na tuto oblast. Platnost této informace nesmí být delší než 4 hodiny s výjimkou oblaku z vulkanického popela a tropické cyklóny, kde se platnost prodlužuje na 6 hodin. Jestliže jev trvá déle, musí být vydána nová informace SIGMET. Zrušení informace SIGMET je pod poznámkou CNL. Pokud je jev předpovídaný doplní se zkratkou FCST, pozorovaný jev má zkratku OBS.

1.1.4 V souladu s Tabulkou A6-1A smí informace SIGMET obsahovat jen jeden z následujících jevů za využití níže uvedených zkratk:

V cestovních hladinách (bez ohledu na nadmořskou výšku)

bouřky	
- zastřené (obscured thunderstorms)	OBSC TS
- prorůstající vrstevnatou oblačností (embedded thunderstorms)	EMBD TS
- četné (frequent thunderstorms)	FRQ TS
- na čáře instability (squall line)	SQL TS
- zastřené s kroupami (obscured thunderstorms with hail)	OBSC TSGR
- prorůstající vrstevnatou oblačností s kroupami (embedded thunderstorms with hail)	EMBD TSGR
- četné s kroupami (frequent thunderstorms with hail)	FRQ TSGR
- na čáře instability (squall line) s kroupami	SQL TSGR
tropická cyklóna	
- tropická cyklóna s 10minutovým průměrem přízemního větru 34 kt nebo více (tropical cyclone)	TC (+jméno cyklóny)
turbulence	
- silná turbulence (severe turbulence)	SEV TURB
námraza	
- silná námraza (severe icing)	SEV ICE
- silná námraza vzniklá v důsledku namrzajícího deště (severe icing due to freezing rain)	SEV ICE (FZRA)
horská vlna	
- silná horská vlna (severe mountain wave)	SEV MTW
prachová vichřice	
- silná prachová vichřice (heavy duststorm)	HVY DS
písečná vichřice	
- silná písečná vichřice (heavy sandstorm)	HVY SS
vulkanický popel	
- vulkanický popel (volcanic ash)	VA (+název sopky, pokud je znám)
radioaktivní oblak	RDOACT CLD

Obrázek 13: Výčet zvláštních jevů pro informaci SIGMET

Zdroj: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-3/data/print/L-3_cely.pdf

Informace AIRMET

Informaci AIRMET vydává meteorologická výstražná služba pro nízké letové hladiny až do FL 100. Obsahem musí být stručný popis výskytu nebo očekávaného výskytu specifikovaných meteorologických jevů na trati. Platnost nesmí být delší než 4 hodiny.

Zpráva SNOWTAM, ASHTAM

Nejedná se o meteorologickou zprávu, je to informace o stavu letištních ploch nebo změnách sopečné vulkanické aktivity.

Informace ATIS

Informace ATIS a její vysílání je nepřetržité. Vysílání obsahuje letištní meteorologické informace, význačné počasí, nastavení výškoměru a předpovědi TREND.

Informace VOLMET

Informace VOLMET je také nepřetržité vysílání, které obsahuje aktuální pravidelné letecké meteorologické zprávy. Je vysíláno na VKV frekvencích. Obsahuje zprávy METAR, přistávací předpovědi TREND, letištní předpovědi TAF a informace SIGMET. Meteorologické informace za letu.

4 Diskuze k možným letům v oblastech s pravděpodobným výskytem bouřek

Pravidla, kterými by se měl řídit každý pilot, jsou jednoduchá. Vyhnout se všem skutečným nebo pravděpodobným bouřkovým jevům. Nepřibližovat se k viditelné bouři na méně než 30 km. S krupobitím a silnými turbulencemi se můžete setkat do 30 km od silných bouřek. Nezkoušejte let pod bouřkami, a to ani za dobré viditelnosti, zvláště kvůli ničivému potenciálu turbulencí. Při prvních známkách turbulence okamžitě snižte rychlost letu na rychlost doporučenou výrobcem pro let v turbulentním prostředí v závislosti na vaší aktuální hmotnosti. Při neúmyslném vlétnutí do bouřky, udržujte letadlo ve vodorovném směru, kterým se dostanete nejrychleji z bouřkové oblasti. Vždy se řiďte zdravým rozumem.

Silný vítr se může rozšiřovat kilometry daleko před silnou bouřkou, která sama o sobě může cestovat rychlostí přesahující 40 uzlů. Jakmile se ocitnete uprostřed bouřky, zpomalením ochráníte konstrukci (drak) letounu, před silnými vzdušnými proudy. Budete mít co dělat udržet rychlost okolo předepsané manévrovací rychlosti. Dalším bodem je vytáhnout podvozek. Přidaný odpor snižuje potenciál při náhlém zrychlení a také pro ztrátu kontroly nebo nadměrného zatížení draku letadla. Nevytahujte klapky, jestliže jsou vytažené, snižují strukturální pevnost křídla. Nakonec udržujte přímý horizontální let. Snaha o přesný kurz nebo výšku letu je v bouři nemožná a zvyšuje pravděpodobnost poškození draku letadla.

Často se letadla vynořila z bouřky s odfouknutými dveřmi, s promáčknutými náběžnými hranami, prasklými čelními skly nebo zdeformovanými draky letounu. Mnoho letadel bylo roztrháno ve vzduchu. S některými proudy mrštily o zem. Je jasné, že nejlepší je se těmto setkáním vyhnout. Bohužel, stoupaní nad konvekční aktivitu obvykle není možné. I letoun s turbínovými motory nebude schopný rychle rozvíjející se bouři nadlétnout. Prolétnutí mezi oblaky může být možnost, ale není to záruka. Otvory mezi rozvíjejícími se bouřkami se mohou rychle uzavřít a vyhýbání se oblakům nemusí zajistit bezpečnost. Pokud není minimální díra mezi oblaky 60 km, nesnažte se proletět. Nejlepší a nejbezpečnější možnost před bouřkovou aktivitou pro všechny piloty je hledat místo na přistání. Ve většině případů to znamená otočit se a najít blízké letiště. Nejbližší dráha však nemusí být tou nejlepší volbou. Bouřky se mohou pohybovat rychle. Vyberte pole, které umožní dostatek času přistát a zabezpečit letadlo než bouře udeří.

4.1 Doporučení pro provádění letů v oblastech s pravděpodobným výskytem bouřek

Nejlepší rada je jednoduchá, zlepšete si své znalosti o tom, jak se bouřky vyvíjejí. Zlepšete si vaše schopnosti číst počasí, abyste se vyhnuli bouřkám. Dalším bodem je vědět, co dělat, když se ocitnete v bouři a jak se z ní bezpečně a rychle dostat ven. Pokud jste na zemi, když se vyvíjejí bouřkové podmínky, nepokoušejte se vzlétnout a počkejte, dokud bouře nepřejde.

Než začnete létat, vždy zkontrolujte předpovědi o počasí, radarové snímky a hlavně vývoj konvektivní oblačnosti. Zjistěte si, jaké nebezpečné povětrnostní podmínky mohly být nahlášeny ve vaší oblasti, na trase a na cílovém letišti. Pamatujte si, že bouřky mohou být tzv. zastřené, skrývající se v mracích. Velmi záleží na tom, v jaké fázi formace se bouřka vyskytuje. V kumulovém stádiu se do vyvíjející bouře vtahuje vlhký vzduch a uvolňuje se teplo, to má za následek výstupné proudy. Ve stádiu zralosti jsou podmínky nejrozměnitější, objevují se i výstupné i sestupné proudy dohromady. Nakonec se na vrcholu bouře objeví tvar kovadliny, který demonstruje, že dosáhl fázi rozpadu. Zde očekáváme hlavně sestupné proudy. Jestliže vidíte bouřku s četnými blesky, je pravděpodobné, že v ní budou všechny nebezpečné jevy extrémně silné. Vzduch pohybující se nahoru a dolů tisíce stop za minutu způsobuje tření, což má za následek údery blesku. I když je viditelnost dobrá, nikdy nelétejte pod bouřkami. Potenciál extrémního větru, turbulencí, downburstů a microburstů je vysoký.

Jak se dostat z bouřky

Pokud se na letišti blíží aktivní bouřka, nepřistávejte ani nevzlétejte. Jsou možné náhlé změny směru větru, silné turbulence a střih větru. Vyhněte se menším bouřkám za letu nejméně 20 km a větším aspoň 40 km. Pokud je míjíte po větru, měli byste tuto vzdálenost ještě zvětšit. Použijte svůj meteorologický radar, je-li k dispozici, jinak vizuálně odbočte. Využívejte silné dešťové přeháňky, tyčící se mraky, blesky a rotorové oblaka jako indikátory toho, kde pravděpodobně budou zralé bouřkové buňky.

Nezapomeňte, že zastřené bouřky mohou být zakryty před zrakem jinými vrstvami oblačnosti. Vyvarujte se oblastí, kde jsou předpovídaný oblaka Cb, pokud nejste vybaveni použitelným zařízením pro detekci bouřek. Jakákoli bouřka s výškou 35 000 stop nebo vyšší by měla být považována za extrémně nebezpečnou. Při létání v oblasti bouřek:

- připevněte si bezpečnostní pásy a ramenní popruhy a zajistěte všechny volné předměty;
- v noci rozsviňte světla kokpitu, aby se snížilo nebezpečí dočasné slepoty z blízkého blesku;
- nelétejte pod bouřkami, protože se mohou vyskytnout silné turbulence, silné sestupné a výstupné proudy, microburst, silné krupobití a stříh větru.

Pokud se nedokážete vyhnout letu v blízkosti bouřky:

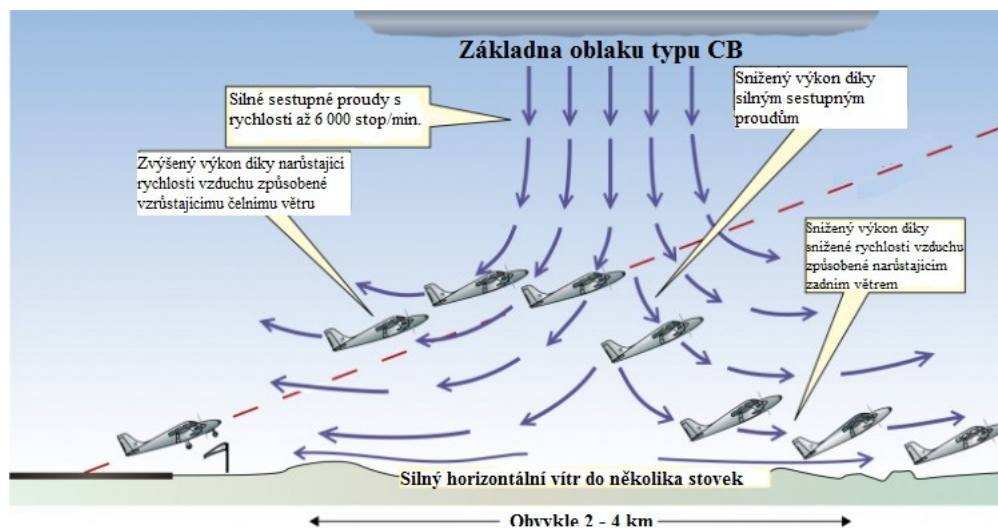
- naplánujte si kurz, který bude co nejkratší a nejrychlejší.
- Zpomalte na doporučenou rychlost letu v turbulentním prostředí. Silné kolísání vertikálních stříhů větru, budou méně nebezpečné pro vaše letadlo, pokud snížíte svou rychlost.
- zapněte vyhřívání pitotové nebo pitotstatické trubice (pro správné fungování čidel)
- zapněte vyhřívání karburátoru a ochranu proti námraze na tryskovém motoru (pro zabránění vypnutí motoru), popřípadě dalších zařízení proti námraze. Nejkritičtější pásmo námrazy se nachází okolo nulové izotermie až do výšky, kde je teplota $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zde se nacházejí přechlazené vodní kapky. V bouřkách byly pozorovány přechlazené vodní kapky až do teplot $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Vyhněte se pokušení létat pod bouřkou, i když máte dobrou viditelnost. Pamatujte, že turbulence jsou obvykle nejhorší pod bouřkou.
- Vyvarujte se zatáčení a udržujte křídélka ve vodorovné poloze. Neprovádějte náhlé změny výšky letu, z důvodu přetížení konstrukce letadla. Vhodné bývá odpojení autopilota, nebo alespoň jeho funkce udržování nadmořské výšky a udržování rychlosti letu, aby se zabránilo, že autopilot provede náhlé změny v náklonu výšky, které způsobí dodatečné strukturální napětí a náhlé změny v síle, které způsobí zvýšené riziko vysazení motoru.
- Kontaktujte letové služby, kde jim sdělte své informace a požádejte o nejlepší cestu z bouřky.
- Pokud je to možné, vyhýbejte se zatáčkám, zvyšují napětí na draku letounu a zvyšují rychlost zastavení. Udržení kurzu vás nejpravděpodobněji dostane z bouře v nejkratším čase.
- Umožněte rychlosti, aby v turbulenci mohla kolísat tak, že nedochází k náhlým změnám výkonu.

- Sledujte letové a motorové přístroje a vyhýbejte se pohledu z kokpitu, aby se snížilo riziko dočasné slepoty způsobené bleskem.
- Používejte, pokud je to možné zařízení pro detekci bouřek.
- Při konečném přiblížení na přistání je třeba zvýšit výkon motoru, kdy nám vzrůstá relativní rychlost vůči okolnímu vzduchu.

Je pravděpodobné, že zažijete tzv. Eliášův oheň. Velkolepý výboj statické elektřiny přes čelní sklo nebo od ostrých hran nebo bodů na konstrukci letadla, zejména v noci. Eliášův oheň není nebezpečný.

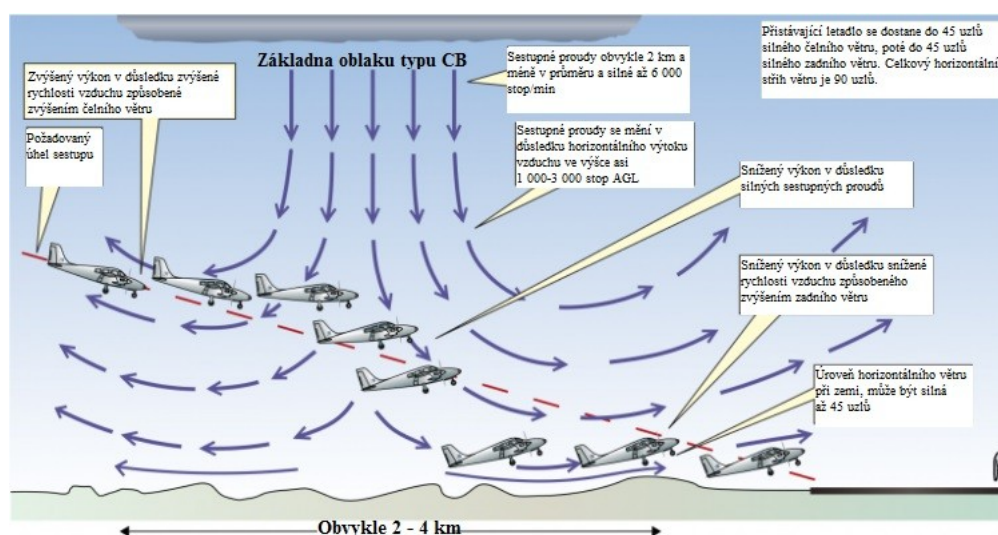
Microburst

Letadlo, které vstoupí do oblasti s výskytem jevu microburst v okruhu 1 000–3 000 stop AGL, se nejprve setká s rostoucím čelním větrem. Letadlo si zpočátku bude udržovat svou setrvačnou rychlost nad zemí (jeho pozemní rychlost) a zvýšený čelní vítr způsobí, že bude mít vyšší stoupavost. Bude mít tendenci létat nad původní dráhou letu. Poté letadlo vstoupí do sestupné části a bude svedeno silně k zemi prudkým klesajícím proudem vzduchu, která povede k dramatické ztrátě stoupavosti. Jestliže se letadlo dostane z této nebezpečné situace, ještě nemá vyhráno. Vlétno do oblasti se silným zadním větrem. Jelikož letadlo bude mít zpočátku tendenci udržovat svou setrvačnou rychlost, zvyšující se zadní vítr sníží rychlost letu, což má za následek snížený výkon letadla. Dokonce s přidáním plného výkonu a vhodným nastavením polohy těžiště pilotem může letoun bojovat o udržení bezpečné rychlosti a dráhy letu. Bezpečné prolétnutí některými malými, silnými microbursty může být mimo výkonnostní schopnosti jakéhokoli letadla.



Obrázek 14: Vzlet letadla v oblasti s jevem microburst (upraveno autorem)

Zdroj: <http://learntoflyblog.com/2017/01/30/weather-operational-factors-of-thunderstorms-and-microbursts/>



Obrázek 15: Přistání letadla v oblasti s jevem microburst (upraveno autorem)

Zdroj: <http://learntoflyblog.com/2017/01/30/weather-operational-factors-of-thunderstorms-and-microbursts/>

5 Závěr

V této práci jsem chtěla upozornit na skutečnost, že i lety v blízkosti konvekčního oblaku mohou být nebezpečné. Oblačnost kupovitého tvaru vyhledávají piloti bezmotorových letounů. Souvisí to s přímým důsledkem termické konvekce neboli stoupavých proudů. Tyto proudy využívají piloti bezmotorového létání k získání výšky.

V první části jsem provedla stručný popis oblaku typu Cb, poté jsem se zaměřila, za jakých podmínek tento typ oblaku vzniká. Uvedla jsem důležitá stadia vývoje, jejich průběh a strukturu. Značnou pozornost jsem věnovala nebezpečným jevům pro letectví.

V další části se zabývám různými účinky bouřkové činnosti na letadlo. Upozorňuji na skutečnost, že i obyčejný déšť má výrazný vliv na samotný let. Může ulpívat na křídlech letadla a tím narušovat jeho mezní vrstvu, která se stane více turbulentní, vzroste její odpor a zvyšuje hmotnost letadla. Zvyšuje se pádová rychlost, protože mezní vrstva se odtrhne mnohem dříve. Nejméně informací jsem vyčetla o dopadu tornád neboli tromb na letadla. U nás se tornáda nevyskytují. Je zatím málo fotografických snímků, kde tornádo vzniklo, většinou jde o fotografie oblačných chobotů.

Hlavním těžištěm práce jsou doporučení pro provádění letů v oblastech s bouřkami. Hlavní informace jsem získala prostudováním amerického pilotního manuálu. V podstatě se jedná o obecný manuál, kde se výrazně nedoporučuje jakýkoli let v blízkosti bouřky.

V grafické části jsem se snažila vytýčit podstatu jevu s názvem microburst, který má neblahý vliv na vzlet a přistání.

6 Seznam použitých zdrojů a literatura

BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře: atmosférická optika, akustika a elektřina*. 1. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2.

DVOŘÁK, Petr. *Letecká meteorologie 2017*. 1. Cheb: Svět křídel, 2017. ISBN 978-80-7573-014-5.

FÖRCHTGOTT, Jiří. *Struktura bouřek a jejich předpověď*. Meteorologické zprávy, 1966

KRÁČMAR, Jan, Karel KRŠKA, Jakub SOBOTA a Václav SVATOŠ. *Meteorologie (050 00)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 80-7204-447-8.

POPEK Martin, BEDNÁŘ Jan: *Přechodné světelné úkazy související s bouřkovou činností*. Meteorologické zprávy 2012. Zdroj: <https://www.bourky.cz/download/prechodne-svetelne-ukazy-souvisejici-s-bourkovou-cinnosti/>

PSIKA, Tomáš: *Průvodce bouřkovou oblačností pro pozemní pozorovatele*, 2014. Zdroj: <http://www.psika.cz/thunderclouds-guide/pruvodce.html>

ŘEZÁČOVÁ, Daniela. *Fyzika oblaků a srážek*. 1. Praha: Academia, 2007. Gerstner. ISBN 978-80-200-1505-1.

SKŘEHOT, Petr: *Stručné základy teorie bouřek* [online], 2004. Zdroj: http://archiv.astronomie.cz/data/Struc_zakl_teo_bour.pdf

https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/01-uvod.html

<https://www.boldmethod.com/blog/lists/2019/06/eight-tips-for-flying-and-navigating-around-thunderstorms-this-summer/>

<https://www.pilotmall.com/blogs/news/flying-in-thunderstorms-what-to-do-what-not-to-do>

<http://www.aopa.org/->

</media/Files/AOPA/Home/Pilot%20Resources/ASI/Safety%20Advisors/sa26.pdf>

<https://www.flightdeckfriend.com/ask-a-captain/are-thunderstorms-dangerous-to-aircraft/>

[https://www.faa.gov/files/gslac/library/documents/2011/Aug/56397/FAA%20P-8740-12%20Thunderstorms\[hi-res\]%20branded.pdf](https://www.faa.gov/files/gslac/library/documents/2011/Aug/56397/FAA%20P-8740-12%20Thunderstorms[hi-res]%20branded.pdf)

<http://learntoflyblog.com/2017/01/30/weather-operational-factors-of-thunderstorms-and-microbursts/>

https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-3/data/print/L-3_cely.pdf

<https://www.matfyz.cz/clanky/746-zajimavosti-z-meteorologie-ii-co-jsou-to-supercely>

<http://slovník.cmes.cz/heslo/1261>

http://archiv.astronomie.cz/data/Struc_zakl_teo_bour.pdf

<https://stare.tornada-cz.cz/poznamky/downburst.html>

<https://www.skybrary.aero/index.php/Tornado>

https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/04-cirkulace.html

7 Seznam příloh a obrázků

Obrázek 1: Oblak Cumulonimbus	14
Obrázek 2: Vznik konvekčních oblaků v prostředí absolutní instability	16
Obrázek 3: Studená fronta prvního druhu	18
Obrázek 4: Studená fronta druhého druhu	18
Obrázek 5: Studená okluzní fronta	19
Obrázek 6: Druhy bouřek a jejich rychlost postupu	20
Obrázek 7: Stádia vývoje	21
Obrázek 8: Zralá supercelární bouře	23
Obrázek 9: Gust fronta	27
Obrázek 10: Pravidelná zpráva METAR	40
Obrázek 11: Mimořádná zpráva SPECI	41
Obrázek 12: Předpověď TAF	42
Obrázek 13: Výčet zvláštních jevů pro informaci SIGMET	43
Obrázek 14: Vzlet letadla v oblasti s jevem microburst	49
Obrázek 15: Přistání letadla v oblasti s jevem microburst	49